



**Mélodie Afonso
Palhares**

**Análise e melhoria do processo produtivo do Pólo II
da Mercatus: uma abordagem Lean**



**Mélodie Afonso
Palhares**

**Análise e melhoria do processo produtivo do Pólo II
da Mercatus: uma abordagem *Lean***

Relatório de projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica do Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira, Professor Associado com Agregação do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro e sob coorientação da Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Doutor Rui Jorge Ferreira Soares Borges Lopes
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Luís Miguel da Silva Dias
Professor Auxiliar da Universidade do Minho

Prof.^a Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro (Co-Orientadora)

agradecimentos

Agradeço à minha família e amigos, especialmente aos meus pais e à minha irmã, por possibilitarem a concretização de mais esta etapa na minha formação tanto profissional como pessoal.

Aos professores Carlos Ferreira e Ana Luísa Ramos pela disponibilidade e apoio demonstrado.

A todos os colaboradores do Pólo II da Mercatus S.A. pela cooperação (em especial ao meu orientador, o responsável de produção, Carlos Fernandes).

palavras-chave

Lean, desperdícios, 5S's, abastecimento, simulação, balanceamento.

resumo

O presente projeto aborda diversas metodologias *Lean* e a sua aplicação na melhoria de desempenho de um processo produtivo.

A análise do que cria valor ou gera desperdícios é a base para a implementação do *Lean Thinking* sendo, posteriormente, essencial iniciar uma “guerra” contra qualquer tipo de desperdícios através de ações de melhoria contínua.

O projeto foi desenvolvido no Pólo II da Mercatus especializado na produção de câmaras de refrigeração/congelamento e abatedores de temperatura, sendo o principal objetivo o aumento da eficiência desta unidade produtiva.

O projeto ilustrará o anterior funcionamento do Pólo II caracterizando alguns dos seus desperdícios e as ações de melhoria implementadas que permitem assegurar uma melhoria contínua sustentada.

keywords

Lean, wastes, 5S's, supply, simulation, balancing.

abstract

The present project approaches diverse Lean methodologies and their application in the performance improvement of a productive process. The analysis of what creates value or generates wastes is the foundation for the implementation of the Lean Thinking and it's essential to start a "war" against any kind of waste by actions of continuous improvement. The project was developed in the Plant II of Mercatus, a company specialized in the production of refrigerated food service equipment, with the main objective of increase the productivity of this unit. The project will illustrate the previous operation process of the Plant II characterizing some of the wastes and the improvement actions implemented that allow a sustained and continuous improvement.

.

ÍNDICE

Capítulo 1: Introdução	1
1.1. Contexto	3
1.2. Relevância do desafio	4
1.3. Estrutura do projeto	5
Capítulo 2: Enquadramento teórico	7
2.1. <i>Lean Thinking</i>	9
2.1.1. Filosofia <i>Lean</i>	9
2.1.2. Valor vs. Desperdício	12
2.1.3. Principais fontes de desperdício	13
2.2. Ferramentas <i>Lean</i>	16
2.2.1. 5S's (<i>Housekeeping</i>)	16
2.2.2. Trabalho padronizado	17
2.2.3. Desenho de <i>layouts</i>	19
2.2.4. Balanceamento de linhas de montagem	19
2.2.5. Abastecimento	20
2.3. Estudo de simulação	23
2.1. Passos de um estudo de simulação	26
2.2. ARENA® Simulation Software	29
2.3. Componentes da simulação	30
2.4. Síntese do capítulo	33
Capítulo 3: Caso de estudo	35
3.1. Apresentação da empresa	37
3.2. Processo produtivo do Pólo II	40

3.3. Etapas do projeto.....	42
3.4. Remodelação do armazém e supermercado	43
3.5. Estudo da linha de montagem dos grupos O's.....	48
3.5.1. Identificação dos desperdícios	50
3.5.2. Ações de combate ao desperdício puro	53
3.5.3. Resultados obtidos com a aplicação das ações.....	55
3.5.4. Análise e redução dos desperdícios necessários.....	57
3.5.5. Resultados obtidos	59
3.6. Alterações ao <i>layout</i> das restantes linhas	59
3.7. Implementação da metodologia 5S's	61
3.8. Abastecimento das linhas de montagem.....	64
3.9. Estudo de simulação para o balanceamento da linha de montagem dos grupos O's	66
3.9.1. Descrição do processo de montagem	66
3.9.2. Fase de construção do modelo conceptual e operacional	67
3.9.3. Análise do Output.....	69
3.9.4. Análise dos cenários alternativos	69
3.9.5. Análise e decisão baseadas no estudo de simulação	71
Capítulo 4: Reflexões Finais.....	73
4.1. Conclusão	75
4.2. Sugestões	76
Referências Bibliográficas	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Equações para a definição do lucro (fonte: Dennis, 2007).....	3
Figura 2: <i>Lean Thinking</i> (adaptado da fonte: www.takttime.net).....	9
Figura 3: Figuras associadas ao desenvolvimento do <i>Lean Thinking</i>	10
Figura 4: Modelo T da Ford (fonte: en.wikipedia.org).....	10
Figura 5: Início do desenvolvimento do <i>Toyota Production System</i> (TPS) (fonte: gestaoindustrial.com)	11
Figura 6: Criação de valor vs. Desperdício (fonte: slides disponibilizados na unidade curricular Gestão de Operações, U.A.)	12
Figura 7: Os três MUs (fonte: Pinto, 2009)	13
Figura 8: Os 7 desperdícios (fonte: www.4lean.net)	14
Figura 9: Etapas dos 5S (fonte: Kaizenworld, 2014)	17
Figura 10: Abastecimento das linhas (fonte: www.4lean.net).....	21
Figura 11: Exemplo de um cartão <i>kanban</i> (fonte: www.4lean.net).....	22
Figura 12: Abastecimento em sequência (fonte: www.4lean.net)	22
Figura 13: Abastecimento com <i>kits</i> (fonte: www.4lean.net).....	22
Figura 14: Diferentes formas de estudar sistemas (adaptado da fonte: Law & Kelton, 2000)	24
Figura 15: Classificação dos sistemas	24
Figura 16: V&V e a relação com o processo de desenvolvimento de um modelo de simulação.....	27
Figura 17: Fluxograma com os passos de um estudo de simulação.....	29
Figura 18: Cronograma da empresa	37
Figura 19: Mercados de atuação da Mercatus.....	38
Figura 20: Produtos produzidos pela Mercatus em cada Pólo e o respectivo peso nas vendas em 2012.....	39

Figura 21: Produtos produzidos no Pólo II e o peso destes nas suas vendas	39
Figura 22: <i>Layout</i> do Pólo II	41
Figura 23: Linhas de montagem	41
Figura 24: <i>Layout</i> antes das alterações.....	44
Figura 25: <i>Layout</i> depois das alterações	44
Figura 26: Supermercado	45
Figura 27: Componentes com a embalagem aberta	45
Figura 28: Componentes com a embalagem intacta	45
Figura 29: Fluxograma para o reabastecimento do supermercado (antes das alterações)	45
Figura 30: Fluxograma para o reabastecimento do supermercado (depois das alterações)	46
Figura 31: Coordenadas do supermercado	46
Figura 32: Diagrama de <i>spaghetti</i> antes (à esquerda) e depois (à direita) das alterações	47
Figura 33: Exemplo de um produto da linha ECO.....	49
Figura 34: Exemplo de um produto da linha SMART	49
Figura 35: Exemplo de um produto SMART Painel Alto (Ao centro)	49
Figura 36: Gráfico referente às vendas dos grupos O's de 2013.....	50
Figura 37: Diagrama de <i>Spaghetti</i> posto 1 (antes)	51
Figura 38: Diagrama de <i>Spaghetti</i> Posto 2 da Linha de Grupos O's (antes)	52
Figura 39: Diagrama de <i>Spaghetti</i> Posto 3 da Linha de Grupos O's (antes)	53
Figura 40: Alterações feitas ao <i>layout</i> da linha	55
Figura 41: Diagrama de <i>Spaguetti</i> Linha de Grupos O's (estado atual)	56
Figura 42: Linha dos grupos O's - valor vs. desperdício (inicial)	59
Figura 43: Linha dos grupos O's - valor vs. desperdício (atual)	59

Figura 44: Nova configuração da linha de montagem dos abatedores	60
Figura 45: Nova configuração das linhas de montagem	60
Figura 46: Exemplo da fase Separar/Classificar dos 5S	61
Figura 47: Exemplo da fase Organizar/Arrumar dos 5S	62
Figura 48: Exemplo do antes (à esquerda) e o depois (à direita) da aplicação dos 5S's 62	
Figura 49: Outro exemplo do antes (à esquerda) e o depois (à direita) da aplicação dos 5S's	63
Figura 50: Armazém antes da aplicação dos 5S's	63
Figura 51: Armazém depois da aplicação dos 5S's	64
Figura 52: Aplicação dos 5's na zona de transformação	64
Figura 53: Abastecimento semanal das linhas (linha de montagem dos grupos O's)	65
Figura 54: Bordo de linha dos Grupos O's	66
Figura 55: <i>Layout</i> do processo de montagem	67
Figura 56: Excerto da simulação do modelo operacional da linha de montagem	68
Figura 57: <i>Layout</i> do sistema para o cenário A	70
Figura 58: <i>Layout</i> do sistema do cenário B	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Combate aos 7 desperdícios (" <i>MUDA</i> ")	15
Tabela 2: Diagrama produtivo	40
Tabela 3: Melhorias conseguidas com as mudanças na gestão do supermercado	48
Tabela 4: Modelos dos grupos de refrigeração das câmaras O's	49
Tabela 5: Ações implementadas para eliminar os desperdícios	54
Tabela 6: Melhoria conseguidas na linha dos Grupos O's	56
Tabela 7: Ganhos com a transferência do corte e dobragem de tubos de cobre	58
Tabela 8: Melhorias no abastecimento das linhas de montagem.....	66
Tabela 9: Dados do modelo V&V das operações da linha de montagem (intervalo de confiança - 95%).....	69
Tabela 10: Dados de saída do cenário A	71
Tabela 11: Dados de saída do cenário B	71
Tabela 12: Tabela comparativa sobre os diferentes resultados	71

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

Tradicionalmente as empresas estabeleciam os preços segundo os custos que possuíam e o lucro que desejavam obter, porém, atualmente, a grande diversidade da oferta e a facilidade de acesso à informação fazem com que a principal forma de garantir os lucros seja a aposta na redução de custos (fig. 1).

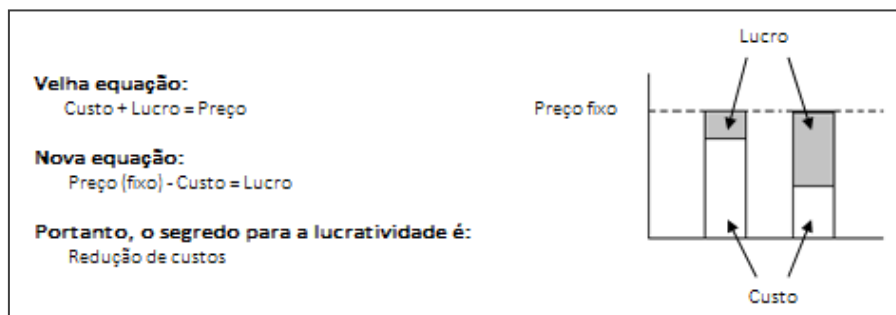


Figura 1: Equações para a definição do lucro (fonte: Dennis, 2007)

O *Lean Manufacturing* (Dennis, 2007) conquistou imensa popularidade entre as organizações, pois surgiu como uma forma eficaz destas se focarem no cliente aumentando a competitividade e a satisfação dos consumidores, sendo mesmo considerada uma estratégia de crescimento. Garantindo a produção utilizando menos recursos (tempo, capital, esforço, pessoas e espaço), melhor qualidade dos produtos e redução dos tempos de entrega de uma determinada encomenda de bens ou serviços, a filosofia *Lean* permite um aumento da satisfação dos clientes e possibilita a criação de capacidade produtiva extra, anteriormente não vislumbrada.

A filosofia *Lean* possibilita a todo o tipo de empresas bases sólidas para a expansão dos negócios, incluindo as pequenas e médias empresas (PME) que geralmente têm mais dificuldades em competir nos mercados globais, pois não conseguem economias de escala tão elevadas e, consequentemente, têm custos mais elevados o que dá origem a preços mais altos. Através da libertação de capacidade produtiva e de gestão, tanto pela redução de desperdícios, como também pela eliminação de fontes de instabilidades transformando-as em capacidade real, a transformação *Lean* ajuda as organizações a conquistarem novos negócios permitindo ganhos mais elevados. Particularmente em tempos de recessão/crise económica, para as PME a implementação do *Lean Manufacturing* surge como uma forma de assegurar a sustentabilidade dos negócios.

A empresa “Mercutus Refrigeração e Estruturas Metálicas d’Alagoa S.A.” dedica-se à produção de equipamentos de refrigeração comercial (bancadas, armários, kits, mini câmaras, câmaras frigoríficas, câmaras de fermentação e abatedores de temperatura) e exporta 95% da sua produção para todo o mundo, fornecendo clientes em mais de 40 países. Em Portugal, a Mercutus é constituída por 2 fábricas e 167

colaboradores. O Pólo I situa-se na Zona Industrial de Travassô (Águeda) e possui 124 colaboradores, enquanto o Pólo II se localiza na Zona Industrial de Barrô (Águeda) com 43 colaboradores. A vontade de implementar a filosofia *Lean* surgiu da necessidade de evolução, de forma a acompanhar e ultrapassar os concorrentes e aumentar a diversidade de produtos.

1.2. RELEVÂNCIA DO DESAFIO

A empresa pretendia iniciar a sua jornada *Lean* de forma a conseguir alcançar um melhor desempenho, pelo que o estágio realizado teve como motivação o estudo e análise da situação atual, a apresentação de propostas de melhoria e a sua implementação na produção. Os objetivos definidos ao longo do estágio consistiam em avaliar a situação atual, determinar as causas de ineficiência, idealizar o futuro estado da fábrica (no Pólo II) e definir os respetivos indicadores para medição e controle dos resultados. Concretamente:

- Elaboração de documentação de apoio necessária às linhas de montagem, como por exemplo, instruções de montagem (IDM's);
- Medição de tempos atuais de montagem dos respetivos equipamentos;
- Análise do atual “supermercado” (*shopstock*) e proposta de eventual melhoria/adequação às necessidades das linhas de montagem, por exemplo através da introdução de novos *kanbans*;
- Estudo do atual *layout* e proposta de eventuais alterações que potenciem a produtividade;
- Estudo das operações realizadas e proposta de alterações, em consonância com o ponto anterior;
- Diminuição da distância percorrida pelos operadores;
- Criação de condições para o abastecimento diário de componentes;
- Criação de instruções de operação/montagem que ajudem a manter cada melhoria a ser implementada no processo supracitado, tornando-o estável e sustentado.

Outro dos objetivos definidos, e um dos principais, era o aumento da produtividade da linha de montagem dos grupos O's (tipo de câmara frigorífica) e que representavam cerca de 47% do valor das vendas do Pólo II da Mercatus e cerca de 16% do valor total das vendas da empresa (Pólo I e Pólo II), considerou-se importante que as vendas destes produtos seguissem a tendência manifestada nos anos anteriores e continuassem a crescer.

1.3. ESTRUTURA DO PROJETO

O relatório de projeto está dividido em quatro capítulos. O primeiro capítulo, a introdução, pretende apresentar de forma sucinta o trabalho desenvolvido.

O segundo capítulo refere-se ao enquadramento teórico do projeto, focando-se em dois pontos: a filosofia *Lean* e o desenvolvimento de um estudo de simulação.

No terceiro capítulo, o caso de estudo, é apresentada a empresa onde se realizou o projeto, sendo ainda descrito o estado inicial da produção, as alterações efetuadas ao seu funcionamento e os resultados conseguidos com essas transformações.

No último capítulo, a conclusão, é feita uma síntese do trabalho realizado e são deixadas algumas sugestões para a continuação do trabalho.

Capítulo 2

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. LEAN THINKING

2.1.1. FILOSOFIA LEAN

A filosofia *Lean* ou “pensamento magro” é uma filosofia de gestão focada na eliminação gradual do desperdício, como meio de otimização de resultados (aumento da qualidade e redução de tempos e custos de produção) através de procedimentos simples (Womack & Jones, 1996). O desperdício refere-se a qualquer atividade que não acrescenta valor, ou seja, atividades e recursos usados indevidamente e que contribuem para o aumento de custos, de tempo e da não satisfação do cliente ou dos demais *stakeholders*. O principal problema a combater é o facto de grande parte dos *inputs* se transformarem em desperdícios, comprometendo seriamente a competitividade das empresas (fig. 2).

Assim o *Lean*, numa abordagem sistemática, permite identificar e eliminar desperdícios dentro de uma organização, através de melhorias contínuas de forma a alcançar um fluxo contínuo (*one piece flow*) de produtos ao ritmo das necessidades reais dos clientes. Ou seja, *Lean* é basicamente tudo o que se refere à obtenção dos materiais corretos, no local correto, na quantidade correta, minimizando o desperdício, sendo flexível e aberto a mudanças (Suzaki, 2010).

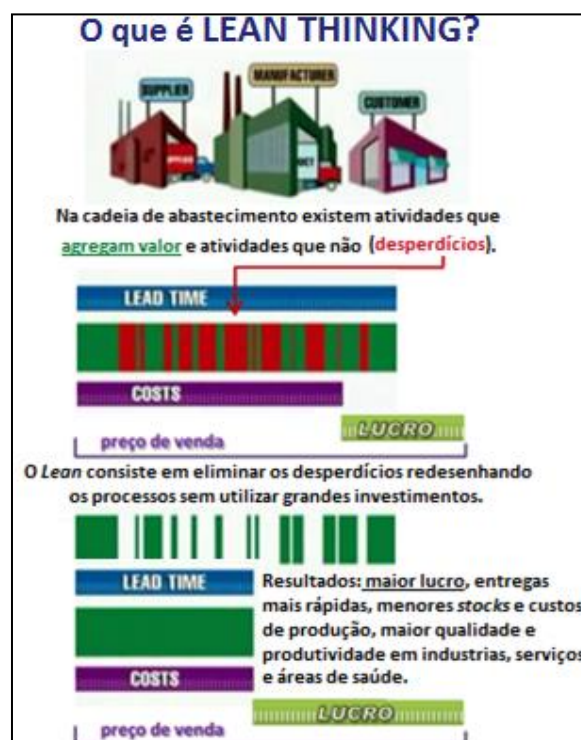


Figura 2: *Lean Thinking* (adaptado da fonte: www.takttime.net)

Quatro homens do século XX (fig. 3) tiveram um profundo impacto no desenvolvimento do *Lean Thinking*: Kiichiro Toyoda, Sakichi Toyoda, Taiichi Ohno e Henry Ford.



Figura 3: Figuras associadas ao desenvolvimento do *Lean Thinking*

O inventor americano Henry Ford, que fundou a Ford Motor Company, e introduziu o automóvel que viria a mudar o mundo, o modelo T (fig. 4). O alinhamento em sequência das etapas do processo de produção (linha de montagem) utilizando sempre que possível máquinas específicas para montar em poucos minutos os componentes nos automóveis (produção em massa) foram revolucionários. O problema com o sistema de Ford não era o fluxo mas sim a sua incapacidade de oferecer variedade.

"O carro está disponível em qualquer cor, contanto que seja preto." Henry Ford



Figura 4: Modelo T da Ford (fonte: en.wikipedia.org)

De forma a responder às necessidades do mercado, outros fabricantes começaram a diversificar as suas ofertas, o que levou ao aumento dos tempos de produção. Com o objetivo de baixar os custos, as empresas adquiriam máquinas cada vez mais rápidas, contudo o *lead time* e o inventário aumentaram. O desfasamento entre as diferentes etapas do processo produtivo e as rotas complexas exigiram sistemas de gestão de informação cada vez mais sofisticados levando à criação do sistema *Materials Requirements Planning* (MRP).

Taiichi Ohno, engenheiro da Toyota, criou as bases para a filosofia *Lean*, inspirando-se nas ideias de Ford impressas no livro *"Today and Tomorrow"* melhorando-as e criando a sua própria metodologia.

Outra grande inspiração para Ohno foi Sakichi Toyoda, o fundador da Toyota Industries Co, inicialmente dedicada à fabricação de teares automáticos, que desenvolveu conceitos tão importantes como os "5 Porquês" (5 *Whys*) e o *Jidoka*

(automação inteligente). Numa visita aos EUA, para fazer um *tour* pela indústria têxtil, Sakichi viu como os americanos tinham aceitado a motorização e encorajou o seu filho Kiichiro Toyoda a criar uma secção na empresa dedicada à produção de automóveis. Em 1937 Kiichiro fundou a Toyota Motor Co. Foi Kiichiro que considerou a ideia da entrega *Just-In-Time* (JIT) de partes, sendo que Taiichi Ohno melhorou a ideia e incorporou-a como um sistema completo. Taiichi Ohno também documentou os diferentes tipos de desperdício e iniciou a luta para a sua eliminação (fig. 5).

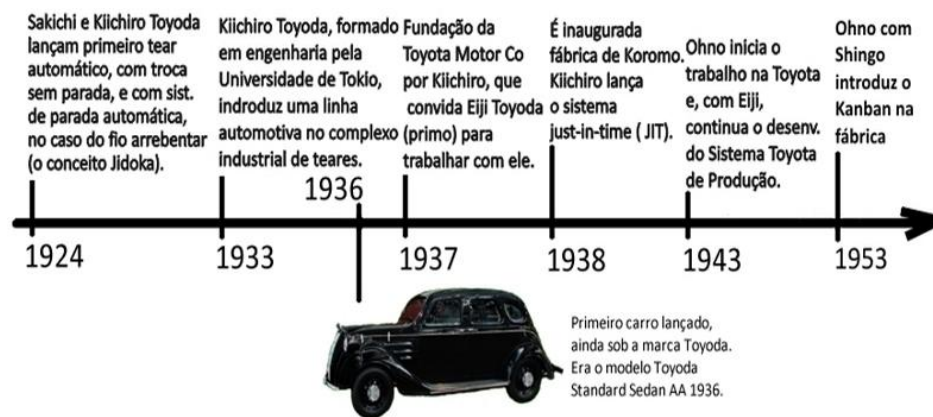


Figura 5: Início do desenvolvimento do *Toyota Production System* (TPS) (fonte: gestaoindustrial.com)

A empresa Toyota surgiu num período de grandes dificuldades económicas, a II Guerra Mundial, e de grande escassez de recursos levando à definição de três conceitos fundamentais: fazer mais com menos, fazer bem à primeira e eliminar desperdícios. A Toyota concluiu que através de máquinas com capacidades adequadas apenas para o volume realmente necessário, de máquinas autonomizadas que garantissem qualidade, do alinhamento das máquinas segundo a sequência do processo, de *setups* rápidos que permitiam a cada máquina a produção em lotes pequenos, e de cada processo notificar o processo anterior das necessidades reais de materiais, seria possível a obtenção de preços baixos, grande variedade, elevada qualidade e *lead times* rápidos o que permitia uma resposta rápida às mudanças das necessidades dos consumidores.

O Sistema Toyota de Produção (TPS) permitiu à Toyota tornar-se a produtora de automóveis mais eficiente do mundo. Depois do sucesso da metodologia na Toyota a empresa começou a disseminar o sistema pelos seus fornecedores para garantir que a sua cadeia de abastecimento correspondia aos seus elevados padrões de eficiência. Esta filosofia e os seus benefícios foram descritos no livro *"The Machine That Changed the World"* (1990) de James P. Womack, Daniel Roos, e Daniel T. Jones. Foi depois deste livro que as metodologias que suportam o TPS ficaram conhecidas como *Lean*. No livro seguinte, *"Lean Thinking"* (1996), James P. Womack e Daniel T. Jones descreveram os cinco princípios fundamentais deste sistema: *Value, the Value Stream, Flow, Pull, Perfection*.

2.1.2. VALOR VS. DESPERDÍCIO

Valor é tudo aquilo que justifica a atenção, o tempo e o esforço que dedicamos a algo. As empresas existem para criar valor. O valor gerado destina-se à satisfação simultânea de todos os *stakeholders*. Para criar valor é importante saber quem são as partes interessadas que servimos, conhecendo depois quais as suas necessidades e expectativas. Desta forma, todas as atividades realizadas que não vão ao encontro das necessidades e expectativas dos *stakeholders* devem ser classificadas como desperdício ou *muda*, por muito que essas atividades pareçam úteis. Os desperdícios tornam os produtos/serviços mais caros do que deviam, tornando o seu preço injusto pois estamos a pedir mais do que o valor que entregamos.

“Mais de 95% do tempo de uma organização é despendido na realização de atividades que não criam valor.” (Pinto, 2010)

Desperdício é tudo aquilo que excede o mínimo estritamente necessário de equipamentos, materiais, espaço, e tempo dos colaboradores absolutamente necessários para acrescentar valor a um produto ou serviço. As diferentes formas de desperdícios podem ser classificadas em (fig. 6):

- Puro desperdício: atividades totalmente dispensáveis que as empresas devem eliminar obrigatoriamente. Este tipo de *muda* pode chegar a representar 65% do *muda* das organizações (Pinto, 2010);
- Desperdício necessário: atividades que não acrescentam valor mas que têm de ser realizadas.

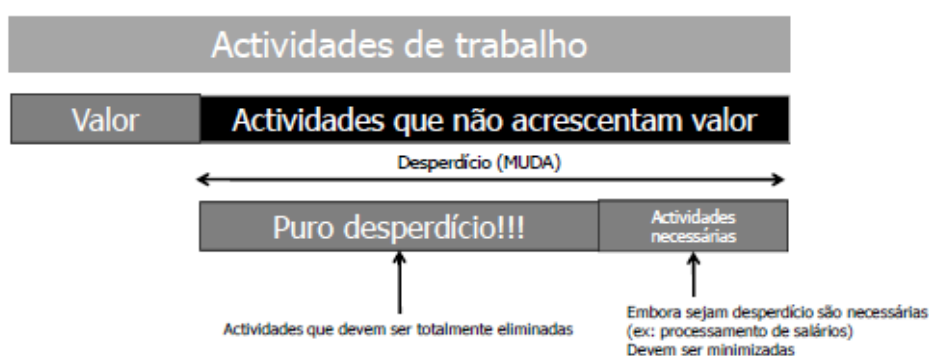


Figura 6: Criação de valor vs. Desperdício (fonte: slides disponibilizados na unidade curricular Gestão de Operações, U.A.)

2.1.3. PRINCIPAIS FONTES DE DESPERDÍCIO

O principal objetivo da filosofia *Lean* é a criação eficaz de valor e, para isso, baseia-se na eliminação de desperdícios reduzindo tempos, *stocks*, áreas, etapas e defeitos. Para a identificação dos desperdícios podemos utilizar diversas técnicas e ferramentas entre as quais:

- Os **três MUs** (fig. 7);
 - MUDA, refere-se ao desperdício;
 - MURA, refere-se às irregularidades/inconsistências e é eliminado através da uniformização do trabalho, garantindo que todos seguem os mesmos procedimentos tornando os processos mais previsíveis, estáveis e controláveis;
 - MURI, refere-se aos excessos ou insuficiências e é eliminado através da adoção do sistema *Just in Time* (JIT) que é aplicado através do sistema *Pull*.

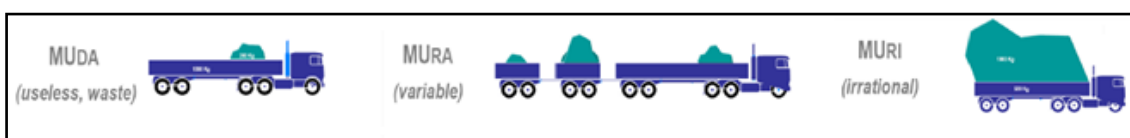


Figura 7: Os três MUs (fonte: Pinto, 2009)

- Os **5 M+Q+S** (*men, machines, materials, management, method, quality e safety*) que consiste na análise das áreas onde os desperdícios podem ocorrer.
- O **fluxo de operações** inclui 4 ações:
 - Retenção que significa parar o fluxo sem acrescentar valor;
 - Transporte refere-se à deslocação de artigos sem criar valor;
 - Processamento refere-se à criação de valor;
 - Inspeção identifica e elimina defeitos mas não cria valor pois não elimina a causa do defeito apenas o resultado.
- Os **sete desperdícios** (7W) (fig. 8):
 - Excesso de produção (excesso de inventário de produto acabado);
 - Esperas por materiais, pessoas, equipamentos ou informações;
 - Transporte (de materiais ou produtos) e movimentações (de pessoas) que não agreguem valor;
 - Desperdício do próprio processo;
 - Stocks (excesso de inventário de matéria-prima);

- Defeitos (produtos fora das especificações);
- Trabalho desnecessário (mau processamento, ou seja, etapas do processo que não agregam valor para o cliente).



Figura 8: Os 7 desperdícios (fonte: www.4lean.net)

Existem 3 elementos críticos na análise do trabalho e identificação de desperdícios:

1. Identificar os passos básicos do trabalho;
2. Atribuir um tempo a cada passo;
3. Desenhar o local de trabalho e as deslocações do operador dentro dessa área.

A tabela 1 sintetiza os sete desperdícios e possíveis soluções *Lean* para a sua identificação e eliminação

Tabela 1: Combate aos 7 desperdícios ("MUDA")

Desperdício	Possíveis soluções <i>Lean</i>
Defeitos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Poka-yoke</i> - dispositivo à prova de erro; ▪ Desenvolvimento de competências - formação; ▪ <i>Design for assembly</i> (DFA) - produto desenvolvido para requerer menos material, menos tempo e menos recursos durante o processo; ▪ <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM) - manutenção básica realizada pelo colaborador; ▪ Evento <i>Kaizen</i>; ▪ Ciclo PDCA (<i>Plan, Do, Check e Act</i>); ▪ Ferramentas da Qualidade; ▪ <i>Cell Design</i> (projeto e <i>layout</i> adequado do posto de trabalho).
Excesso de <i>Stock</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Kanban</i> (ferramenta do sistema pull); ▪ VSM (mapeamento da cadeia de valor); ▪ Gestão visual; ▪ Evento <i>Kaizen</i>; ▪ Ciclo PDCA; ▪ Ferramentas da Qualidade (na organização ou no fornecedor).
Excesso de Produção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Kanban</i>; ▪ <i>Heijunka</i> (nivelamento da carga); ▪ TPM; ▪ Gestão visual; ▪ VSM; ▪ Evento <i>Kaizen</i>; ▪ Ciclo PDCA; ▪ Ferramentas da Qualidade.
Tempos de Espera	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Kanban</i>; ▪ <i>Heijunka</i>; ▪ <i>Setup</i> rápido; ▪ VSM; ▪ TPM; ▪ <i>Lean SixSigma</i> (metodologia para melhoria de processos); ▪ Gestão visual; ▪ Evento <i>Kaizen</i>; ▪ Ciclo PDCA; ▪ Ferramentas da Qualidade.
Movimentação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 5S; ▪ <i>Cell Design</i>; ▪ VSM; ▪ Evento <i>Kaizen</i>; ▪ Ciclo PDCA; ▪ Ferramentas da Qualidade.
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema <i>Pull</i>; ▪ VSM; ▪ Organização por fluxo de valor; ▪ <i>Kanban</i>; ▪ Evento <i>Kaizen</i>; ▪ Ciclo PDCA; ▪ Ferramentas da Qualidade.
Trabalho Desnecessário	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DFA; ▪ <i>Lean Six Sigma</i>; ▪ Evento <i>Kaizen</i>; ▪ Ciclo PDCA; ▪ Ferramentas da Qualidade.

2.2. FERRAMENTAS LEAN

2.2.1. 5S's (HOUSEKEEPING)

A filosofia *Lean* adota os “5S’s” de forma a tornar os postos de trabalho mais eficientes, mais seguros e mais organizados. A implementação dos 5S’s começa no chão de fábrica (*shop-floor* ou *gemba*), contudo as suas repercussões são sentidas em toda a organização. Esta ferramenta parte do princípio da visibilidade, ou seja, tornar visíveis os problemas onde quer que possam existir. Os 5’S também são muito importantes para criar boa impressão aos possíveis novos clientes e aos já clientes quando estes visitam as instalações. Os 5’S são a base de todas as melhorias e é o componente chave para estabelecer a gestão visual no *gemba* (Kaizenworld, 2014). Alguns objetivos desta ferramenta são:

- Melhorar o ambiente de trabalho;
- Melhorar a qualidade de vida;
- Aumentar a produtividade;
- Alcançar a qualidade total;
- Aumentar a satisfação do colaborador;
- Reduzir os custos e desperdícios.

Os elementos dos 5S (*Seiri, Seiton, Seise, Seiketsu* e *Shitsuke*) apresentam-se na fig. 9 (Feld, 2001):

- **Seiri (sort)** - Remover do local todos os itens desnecessários. Isto fará com que seja mais fácil trabalhar, os materiais fluírem pelo espaço, o operador movimentar-se e melhorar a utilização do espaço;
- **Seiton (set in order)** - Identificar os itens que pertencem à área, arranjar um local para eles e colocá-los no seu lugar. Isto tornará o reconhecimento visual das ferramentas e materiais adequados extremamente fácil;
- **Seiso (shine)** – Limpar tudo. O local de trabalho deve ser limpo ao fim de cada turno e nada deverá estar em falta ou fora do local;
- **Seiketsu (standardize)** - Desenvolver regras para manter e controlar os primeiros 3 S’s. Usar sistemas de controlo visuais tornando óbvia a localização correta dos materiais;
- **Shitsuke (sustain)** - Assegurar a manutenção dos padrões dos 5S’s através de comunicação, formação e disciplina. Desenvolver regras, instruções, listas de limpeza, lista de ações, etc... Reconhecer quando é atingido e mantido um bom nível de organização.



Figura 9: Etapas dos 5S (fonte: Kaizenworld, 2014)

“Everything has a place and everything in its place! If it does not warrant a label, it does not warrant a place in the area!” (Feld, 2001)

2.2.2. TRABALHO PADRONIZADO

“Often standardized work is thought to be mainly a set of instructions for the operator. In reality one of the most powerful uses of standardized work is for analyzing and understanding waste in the operation. The documented work procedure will be a visual representation of the waste (opportunity for improvement) that exists. It is part of the analysis that helps to remove the “clouds” and see the underlying image. It will also provide beneficial information for establishing balanced work flow during the creation of continuous flow.” (Liker & Meier, 2006)

O objetivo do trabalho padronizado é identificar *muda* possibilitando assim a melhoria contínua através do envolvimento dos membros da equipa.

“Standardized work is our playbook – the safest, easiest, and most effective way of doing the job that we currently know. At Toyota I came to understand that:

- *There is no one best way to do the work.*
- *Workers should design the work.*
- *The purpose of standardized work is to provide a basis for improvement.”* (Dennis, 2007)

Deve-se começar por identificar os grandes desperdícios. Visto ser uma ferramenta de análise, o trabalho padronizado ajuda inicialmente na identificação de movimentações (andar, alcançar) e tempos de espera (quando o tempo de ciclo é inferior ao *takt time*). Inicialmente deve-se proceder a uma análise com nível menos detalhado e, seguidamente, ir pormenorizando a análise.

Se o trabalho requiere que o operador se desloque para fora da área do seu posto de trabalho, começa-se por identificar as deslocações. Se o operador se desloca somente dentro da área do seu posto de trabalho inicializa-se a análise com o padrão de deslocamentos. Se o operador está imóvel (numa cadeira ou não se movimenta)

começa-se por analisar os movimentos com as mãos. Depois das tarefas estarem identificadas, procede-se à medição e registo do tempo de cada tarefa. Seguidamente, deve-se separar o tempo em 2 categorias, tempo de execução das tarefas e tempo de movimentações. Por último deve-se fazer um desenho do posto de trabalho, sendo ainda incluído nesse desenho os locais (interligados através de uma linha) onde as tarefas são executadas. (Liker & Meier, 2006)

O trabalho padronizado deve responder ao “5W+1H” (quem, o quê, quando, onde, porquê e como) do processo. Ou seja, determina os processos exatos de cada colaborador baseando-se em 3 elementos:

- *Takt time*;
- Sequência de trabalho;
- *Standard WIP*.

Existem 4 documentos que constituem o trabalho padronizado (Narusawa & Shook, 2009):

- Quadro de capacidade do processo (*process capacity sheet*);
- Tabela de combinação de trabalho padronizado (*standard work combination table*);
- Diagrama de trabalho padronizado (*standard work chart*);
- Folha de instruções de trabalho (*job instruction sheet*).

O trabalho padronizado não é o objetivo, os objetivos são a otimização da produtividade, segurança e qualidade. O trabalho padronizado é apenas a ferramenta utilizada para se atingirem os objetivos.

2.2.2.1. INSTRUÇÕES DE TRABALHO

Para transmitir de forma consistente como um procedimento normalizado deve ser realizado, a mensagem deve ser comunicada num formato facilmente reconhecível. Ou seja, estas instruções devem ser um conjunto de representações gráficas (desenhos ou fotografias) descrevendo o trabalho a ser executado num posto de trabalho ou máquina. O trabalho a ser realizado deve ser descrito o máximo possível sem texto, pois as imagens são uma forma de comunicação muito mais eficaz do que o texto (Leone & Rahn, 2002).

O avanço das câmaras digitais, máquinas de filmar e programas de edição de imagem ajudaram a fornecer instruções gráficas. A informação pode ser capturada rapidamente através de uma câmara digital e, posteriormente, manipulada de forma a agregar legendas com códigos de cores que identificam o conteúdo de trabalho por operação, controlo de qualidade, notas especiais, entre outros. A cor consegue transcender as barreiras linguísticas, porém se existirem preocupações com os funcionários daltônicos podem-se utilizar símbolos com padrões (Feld, 2001). As instruções de trabalho são ferramentas valiosas para o treino de novos colaboradores.

2.2.3. DESENHO DE LAYOUTS

“Poor layout design is determined as a major problem in small and medium industry.” (Firake & Inamdar, 2014)

Segundo Feld (2001), devem ser seguidos um conjunto de objetivos ou critérios, quando se “desenha” uma célula de trabalho, como por exemplo:

1. Assegurar que o fluxo de materiais tem apenas uma direção;
2. Reduzir as movimentações de materiais e de colaboradores;
3. Eliminar *stocks* entre operações;
4. Eliminar segundos e terceiros manuseamentos;
5. Localizar componentes/partes o mais perto possível do local de utilização;
6. Utilizar variação de tarefas para reduzir os movimentos repetidos;
7. Localizar todas as partes e ferramentas de forma a ter fácil acesso;
8. Garantir percursos/distâncias curtas;
9. Eliminar tempos de espera;
10. Lembrar que armazenamento vertical requer menos espaço do que o horizontal (incluindo material *kanban*);
11. Organizar máquinas e ferramentas segundo a sequência do processo;
12. Envolver os colaboradores no processo de design (incorporar economias de movimentos).

Os objetivos a alcançar através do desenho de *layouts* consistem na:

- Minimização do custo de manuseamento de materiais;
- Minimização da distância percorrida pelos operadores;
- Maximização da proximidade de departamentos relacionados.

Contudo existem também algumas restrições, tais como:

- Limitação de espaço;
- Necessidade de manter localizações fixas para certos departamentos;
- Regulamentos de segurança e regulamentos relativos a incêndios.

2.2.4. BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM

O balanceamento de linhas na indústria significa nivelar em relação a tempos, uma linha de produção ou montagem, dando a mesma carga de trabalho, às pessoas ou máquinas num fluxo de produção. O balanceamento anula os “gargalos” de produção, proporcionando o máximo de produtividade e eficiência, eliminando tempos de espera e mantendo o ritmo de trabalho do conjunto.

“Line balancing is a tool to improve the throughput of a work cell or line which at the same time reducing manpower and cost needed.” (Firake & Inamdar, 2014)

Objetivos do balanceamento:

- Melhoria da produtividade e da eficiência;
- Aumento da produção com a mesma ou menor quantidade de pessoas;
- Melhoria do *layout*;
- Aproveitamento máximo do homem e da máquina;
- Manutenção de um ritmo cadenciado de trabalho.

Basicamente, o balanceamento de uma linha pretende encontrar a solução para uma das seguintes alternativas:

- I. Dado um tempo de ciclo, encontrar o menor número de postos de trabalho necessários;
- II. Dado um certo número de postos de trabalho, minimizar o tempo de ciclo.

O balanceamento deve seguir um conjunto de etapas:

- 1) Identificar todas as tarefas que devem ser realizadas para produzir um determinado produto, afetas à linha em questão;
- 2) Identificar a quantidade de tempo necessário para desempenhar cada tarefa;
- 3) Identificar as precedências relativamente às tarefas realizadas através da construção de um diagrama de precedências;
- 4) Determinar o tempo de ciclo, tempo transcorrido entre a saída de uma peça e a saída da seguinte ou determinar o *takt time* com base na procura e no tempo disponível para a satisfazer;

$$Takt\ time = \frac{Tempo\ Disponível}{Procura}$$

- 5) Determinar o número mínimo de postos de trabalho;

$$N^o = \frac{\sum_i Tempo\ Tarefa\ i}{Tempo\ de\ Ciclo}$$

- 6) Atribuir as tarefas até preencher os postos de trabalho fazendo com que o tempo de carga seja igual ao tempo de ciclo.

2.2.5. ABASTECIMENTO

Por vezes encontramos situações em que o fluxo de materiais é complexo, devido a falta de abastecimento adequado. A necessidade de componentes na linha de produção, sem um padrão correto de abastecimento gera desperdícios nos postos de trabalho. Para eliminar o *muda* existente no processo, existe a necessidade de um operador logístico, cuja principal função é executar todas as movimentações necessárias entre o “supermercado” e o “bordo de linha”, transportando informações e disponibilizando os componentes para a montagem no ponto de uso. O

operador logístico, conhecido como *Mizusumashi* ou comboio logístico, é a principal ferramenta para a criação de fluxo da logística interna (fig. 10).

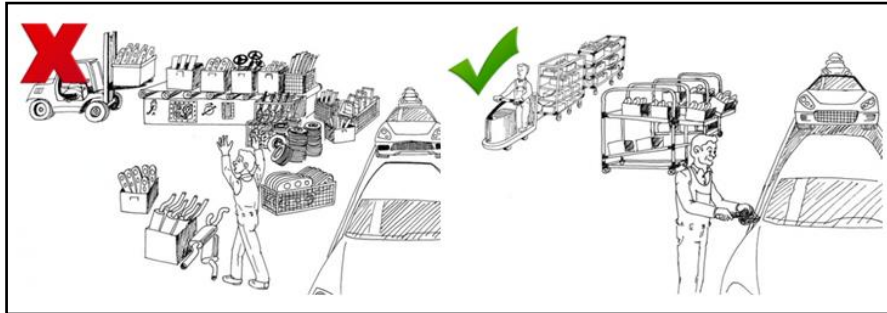


Figura 10: Abastecimento das linhas (fonte: www.4lean.net)

Existem dois tipos de abastecimento em fluxo, contínuo e sequencial. O abastecimento contínuo é conhecido como *Kanban*, onde há a troca de caixa vazia por caixa cheia a cada ciclo do *Mizusumashi*. O abastecimento sequencial é conhecido como *Junjo*, através do qual são abastecidos normalmente componentes de maiores dimensões e *kits*.

Juntamente com o planeamento do *Mizusumashi*, o desenho do bordo de linha é um ponto importante no fluxo de produção, pois irá definir os requisitos do sistema logístico interno. Para facilitar a movimentação dos componentes pelo *Mizusumashi*, é importante que os contentores sejam pequenos, facilitando o *picking* de materiais tanto para o operador da linha quanto para o operador logístico, evitando a necessidade de empilhadores ou equipamentos de manuseio mecânico (o fluxo ou a movimentação deve ser o mais fácil possível). Com o dimensionamento correto do bordo de linha, cessa a preocupação em relação à falta de componentes; o trabalho padronizado executado permite uma produtividade alta dos postos de trabalho, disponibilizando o material certo, no local certo e na hora certa.

2.2.5.1. KANBAN

“Kanban provides two major services to the Lean facility. It serves as the communication system and it is a continuous improvement tool.” (Wilson, 2010)

O *kanban* (fig. 11) é um sistema de requisição de material. Uma sinalização *kanban* é colocada num determinado nível de *stock* que origina uma nova requisição. O objetivo deste sistema é facilitar o fluxo auxiliando deste modo o sistema *pull* e limitar *stocks*.



Figura 11: Exemplo de um cartão *kanban* (fonte: www.4lean.net)

2.2.5.2. JUNJO

O sistema *junjo* divide-se em duas categorias, sequência (fig. 12) e *kit* (fig. 13). Quando o componente a ser abastecido no bordo de linha é de grandes dimensões, ou é um componente base do produto, este deve ser fornecido em sequência (exemplo: os assentos de automóveis).

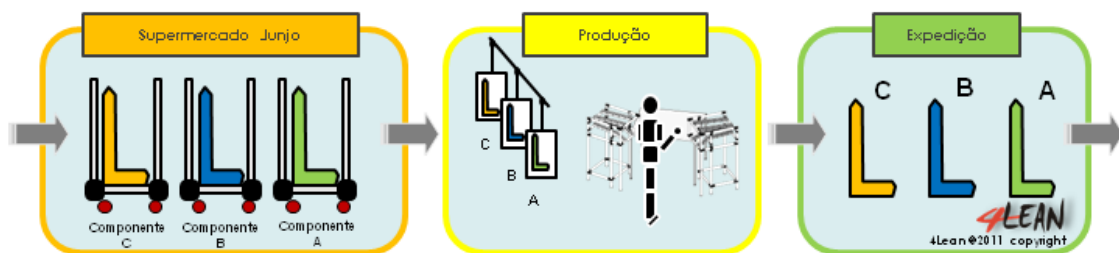


Figura 12: Abastecimento em sequência (fonte: www.4lean.net)

No caso de o abastecimento ser constituído por vários componentes de pequenas e médias dimensões, os componentes devem ser “casados” em *kits* e fornecidos na sequência de produção.

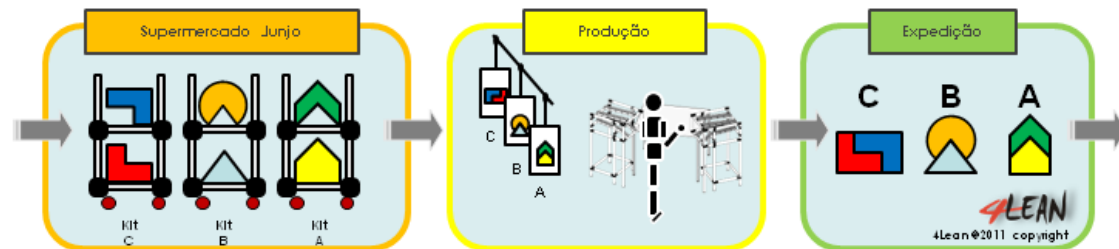


Figura 13: Abastecimento com *kits* (fonte: www.4lean.net)

2.2.5.3. SUPERMERCADO

O “supermercado” é um pequeno armazém responsável pelo abastecimento do sistema *pull* que pode conter produtos intermédios, acabados e/ou peças de fornecedores externos. Pode ser definido como sendo a interface entre os processos internos entre si e entre a fábrica e os fornecedores externos. Os supermercados fazem a ligação entre os processos que não podem ter fluxo contínuo (Ferro, 2005). Ou seja, estes podem ser implementados quando um dos processos fabrica em lotes. Para

além disso, estes podem ainda ser criados quando dois ou mais consumidores utilizam o mesmo material.

O objetivo do supermercado é reduzir o tempo de manuseamento de materiais e eliminar desperdícios referentes a transporte. A verificação do estado do inventário deve ser fácil e baseada em métodos visuais, em detrimento da contagem do número de componentes. Estes devem ainda proporcionar um *picking* rápido e preciso e manter a regra FIFO (*First In First Out*).

O supermercado está relacionado a um processo ou uma linha de produção que fabrica apenas o necessário para repor o que foi retirado. A desvantagem desse sistema é que um processo precisa manter um *stock* com todas as peças que produz, o que pode não ser prático caso a variedade de peças seja muito grande.

“...I find a similar misunderstanding and misuse of “supermarket.” I go into operations that will show me their “supermarket.” As I inquire a little more what I find is their definition of supermarket is a complete set of parts and materials staged closer to the line than the warehouse. At best, that is actually a FIFO materials storage rack.” (Pleasant, 2012)

Os componentes presentes num supermercado são caracterizados por serem artigos com elevado consumo (itens A da análise ABC); estes são consumidos mais rapidamente que o tempo de ciclo *standard* para o manuseamento dos materiais. A reposição no supermercado é acionada por cartões *kanban*, indicações de mínimo/máximo, sinais eletrónicos, luzes ou através da rotina de abastecimento do *Mizusumashi*. Depois de os supermercados serem dimensionados e implementados, devem continuar a ser acompanhados, ou seja, deve-se criar uma sistemática de revisão e atualização dos seus níveis. Na grande maioria dos casos a revisão mensal pode ser suficiente, contudo esta deve ser sempre realizada quando existirem grandes variações no *takt time* (Lean Institute Brasil, 2011).

2.3. ESTUDO DE SIMULAÇÃO

Um sistema é definido como sendo uma coleção de entidades (pessoas ou máquinas) que interagem com a finalidade de atingirem um objetivo lógico. Os sistemas podem ser estudados de diferentes formas (fig. 14):

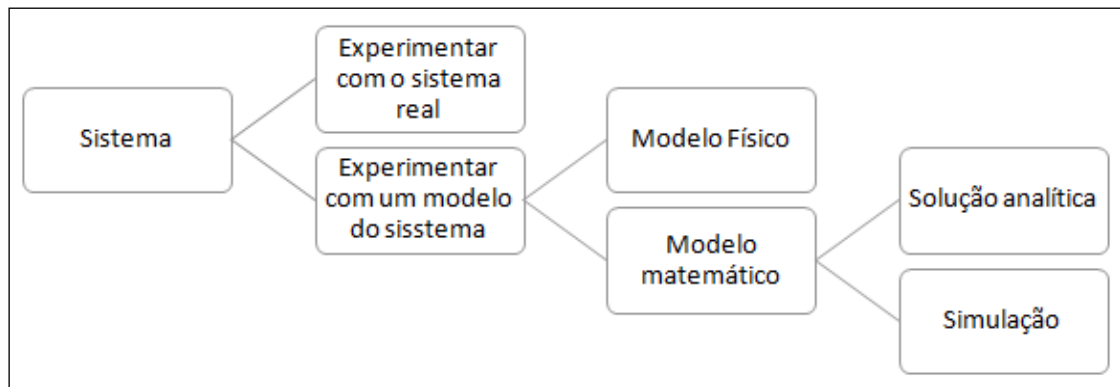


Figura 14: Diferentes formas de estudar sistemas (adaptado da fonte: Law & Kelton, 2000)

A simulação de sistemas (operações ou processos do mundo real) pode ser classificada como simulação analógica, com modelos físicos, ou a simulação digital, realizada em computador. Os modelos podem ser classificados (Law & Kelton, 2000) como (fig. 15):

- Dinâmicos nos quais as variáveis mudam de estado ou estáticos;
- Estocásticos/aleatórios cujas grandezas em causa seguem leis aleatórias (por exemplo, o tempo que decorre entre eventos) ou determinísticos;
- Discretos, fenómenos que podem ser descritos por eventos e suas sequências ou contínuos, equações diferenciais que descrevem a evolução de grandezas contínuas.

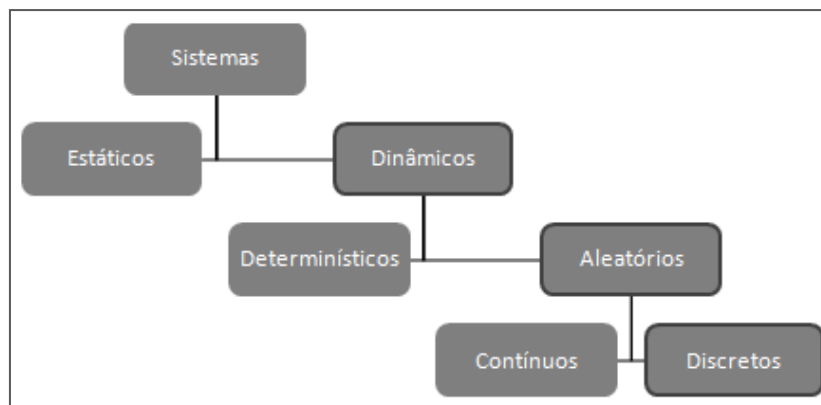


Figura 15: Classificação dos sistemas

O tempo é a principal variável independente num modelo dinâmico, sendo que as demais variáveis (variáveis de estado) podem ser consideradas como funções do tempo, ou seja, variáveis dependentes.

A simulação digital permite comprimir tempo, de maneira a que anos possam ser simulados em minutos. Esta funcionalidade permite correr diversos cenários alternativos em frações de tempo menores que o necessário para testar cada cenário

no sistema real e com custos inferiores. Além disso, os dados gerados pela simulação podem oferecer respostas bastante precisas.

Nos modelos de simulação discreta (*Discrete Event Simulation – DES*), as variáveis de estado mantêm-se inalteradas ao longo de intervalos de tempo, mudando de valores apenas quando ocorrem eventos (momentos definidos no tempo). Este tipo de modelos agregam no mínimo sete conceitos: trabalho, recursos, rotas, *buffers*, horários, sequências e desempenho e oferece ainda técnicas que permitem aproximar os valores com um erro diminuto.

“It is the ability to mimic the dynamics of the real system that gives discrete-event simulation its structure, its function, and its unique way to analyze results.” (Ingalls, 2013)

“Discrete event simulation is a powerful tool for gaining insight on the operational behavior of real systems, from call centers to manufacturing lines, from hospitals to ports. The great advantage of simulation is the ability to analyze complex systems using models constructed to capture critical aspects of system behavior with high fidelity.” (Barton, 2012)

Vantagens da simulação:

- Permite maior flexibilidade na modelização de sistemas complexos, o que facilita a obtenção de modelos válidos;
- Facilita a comparação de alternativas;
- Possibilita o controlo das condições experimentais;
- Possibilita o estudo do funcionamento de um sistema, para um longo período de tempo, de uma forma rápida (comprimindo o tempo) ou o estudo de detalhes de funcionamento amplificando o tempo.

Desvantagens da simulação:

- A simulação estocástica gera apenas estimativas – com ruído (assim, se um modelo analítico “válido” pode ser usado então é preferível à utilização da simulação);
- O desenvolvimento de modelos de simulação pode ser dispendioso;
- A simulação gera, normalmente, um grande volume de dados – é preciso que estes sejam resumidos e analisados adequadamente em termos estatísticos.

Razões mais frequentes para a utilização da simulação:

- O sistema real ainda não existe, podendo a simulação ser utilizada para planejar o futuro do sistema;
- Experimentar com o sistema real é dispendioso, por exemplo, um modelo de simulação pode indicar quais os benefícios de se investir num novo equipamento antes da compra ser efetuada;

- Experimentar com o sistema real é inadequado, por exemplo, o planeamento de situações de emergência.

2.1. PASSOS DE UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO

O primeiro passo consiste na formulação do problema onde são definidos os objetivos do projeto, os aspetos específicos às fronteiras e ao domínio; procede-se depois à seleção das medidas de desempenho do sistema (*Key Performance Indicators* - KPI's) relevantes para os objetivos do estudo, que serão posteriormente utilizadas para comparar diferentes configurações do sistema (cenários) e enumeram-se as configurações a modelar. Deve-se garantir que todos os aspetos relevantes são incluídos desde o início do projeto.

“Defining the KPIs is critical. When running “what-if” scenarios, these outputs will be compared among scenarios to assist with decision making.” (Jurishica & Zupick, 2012)

Os indicadores de desempenho do sistema mais utilizados são: a utilização dos recursos, *output* total, *work in progress* (WIP), tempo de ciclo, custos, *stocks*, tempo em fila de espera e número em fila de espera.

O segundo passo é a recolha de dados referentes às medidas de desempenho do sistema atual que irão permitir estimar os *inputs* do modelo. Os dados recolhidos serão também importantes para a validação do modelo onde as estatísticas do *output* serão comparadas com as previsões. A etapa seguinte, a especificação do modelo conceptual é uma fase crítica de um projeto de simulação e requer a colaboração de todos os atores que detêm o conhecimento dentro da organização de forma a extrair e validar o conhecimento detido pelos especialistas. Este conhecimento traduz-se num conjunto de pressupostos que deverão ser analisados e validados pelos especialistas antes de o modelo ser implementado.

“In order to build a valid model, the simulation team must map out process. Regardless of the industry (healthcare, government, manufacturing, etc.) there is a movement of entities (people, widgets, orders, etc.) through the system. This flow must be documented.” (Jurishica & Zupick, 2012)

Jurishica e Zupick sugerem algumas questões que devem ser colocadas nesta fase:

- Como é que uma entidade se move dentro do sistema?
- Que tipo de restrições existem no sistema?
- Que regras devem ser consideradas neste processo?
- Existe alguma exceção na forma como uma entidade deve ser tratada nos diferentes passos no processo?

- Que tipos de “recursos gargalo” existem atualmente no sistema?

O quarto passo consiste em programar o modelo numa linguagem de programação (ex. C, Fortran) ou num *software* de simulação (ex. Arena, AutoMod, WITNESS, ProModel). Este passo é seguido pela verificação, que consiste em avaliar se o modelo operacional foi implementado corretamente e se funciona do modo pretendido, ou seja, nesta fase são detetados e removidos os erros não intencionais relacionados com a lógica do modelo.

No passo seguinte devem-se efetuar testes piloto (execuções do modelo) que permitirão a validação do modelo (sexto passo do estudo), ou seja, ajudam a determinar se o modelo conceptual definido e implementado reflete adequadamente e com rigor o sistema analisado e se as abstrações e simplificações definidas intencionalmente no modelo conceptual do sistema introduziram erros inaceitáveis nos resultados (fig. 16).

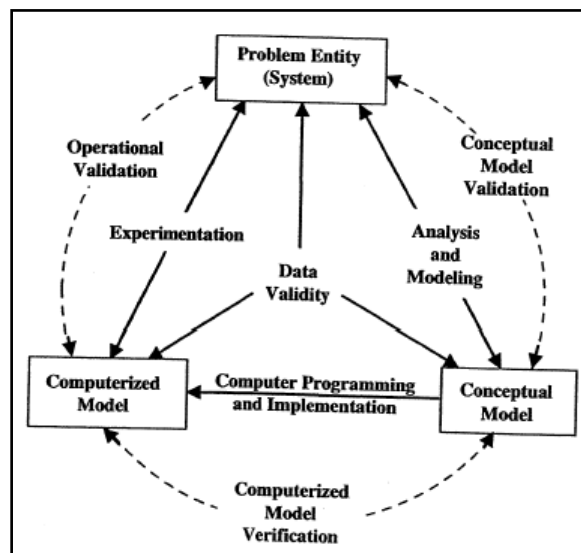


Figura 16: V&V e a relação com o processo de desenvolvimento de um modelo de simulação
(fonte: Sargent, 2013)

“Verification and validation are concerned with determining whether a model and its results are “correct” for a specific use or purpose.” (Sargent, 2013)

Existem três tipos de abordagens para determinar a validade de um modelo de simulação. Uma destas abordagens, e a mais utilizada, é a própria equipa decidir se o modelo é válido ou não baseando-se nos resultados dos vários testes e avaliações conduzidas durante o processo de desenvolvimento. Outra abordagem consiste na validade do modelo ser comprovada pelos utilizadores que são integrados na equipa de desenvolvimento do modelo permitindo aumentar a sua credibilidade. Na última abordagem designada verificação e validação independente (IV&V) é utilizada uma

entidade totalmente independente que confirmará ou não a validade do modelo. Esta abordagem é utilizada em modelos de simulação de grande escala sendo que a entidade opta por ir verificando a validade do modelo ao mesmo tempo que este está a ser desenvolvido ou depois do modelo estar concluído.

O sétimo passo é o desenho de experiências onde são definidos os cenários a testar e identificados vários parâmetros relacionados com as condições de teste. A execução do modelo de simulação (oitavo passo) conduz à obtenção de resultados (estimativas) para as medidas de desempenho definidas. Com base na análise de resultados (nono passo), o analista pode determinar se é necessário efetuar mais replicações ou se é necessário avaliar cenários adicionais.

Nesta fase Jurishica e Zupick (2012) aconselham as seguintes questões:

- E se adicionássemos uma máquina?
- E se aumentássemos a velocidade dos equipamentos?
- E se mudarmos o *mix* de produtos?
- E se alterarmos o *layout*?
- E se a procura pelo nosso serviço se alterar?
- O que acontece se alterarmos a capacidade do sistema?

A criação de documentação (décimo passo) permite ao “cliente” rever o modelo conceptual e operacional, a solução final e os cenários alternativos avaliados, os critérios através dos quais se compararam as alternativas, os resultados experimentais e as recomendações do analista. A apresentação dos resultados deverá proporcionar a discussão dos processos de construção e validação do modelo e, deste modo, promover a sua credibilidade. Esta apresentação deverá também incluir modelos de animação para facilitar o entendimento do estudo.

“Depending on the simulation software used for the project, the animation opportunities will vary. (...)

- *Statistical reports only;*
- *Live data dashboards including plots, charts and variable animation that update while the simulation runs;*
- *2D animation;*
- *3D animation.”* (Jurishica & Zupick, 2012)

Os resultados do estudo (se válidos e credíveis) deverão ser utilizados no processo de tomada de decisão.

Na figura 17 podemos consultar o fluxograma com a representação esquemática das diferentes etapas dos estudos de simulação.

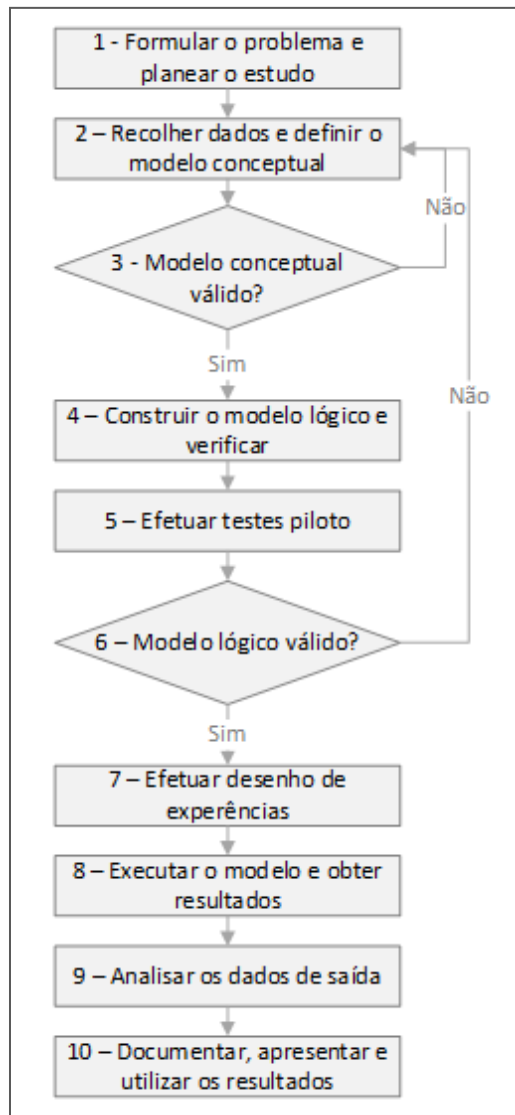


Figura 17: Fluxograma com os passos de um estudo de simulação

2.2. ARENA® SIMULATION SOFTWARE

O software ARENA® é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para a modelação de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados e foi desenvolvido pela empresa Rockwell Automation. No ARENA® não é necessário escrever código, pois todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual; contudo existe a possibilidade de escrita de código como alternativa ao modo gráfico.

O ARENA® admite várias distribuições temporais, articuladas com a melhor descrição de cada sistema particular, sendo possível executar o mesmo modelo diversas vezes até se obter um número de replicações que garanta que os valores finais obtidos são resultado de uma média de resultados que aborda todas as

hipóteses de desempenho, cobrindo assim alguma aleatoriedade que possa ter influenciado determinada replicação. Quando o modelo “corre” rapidamente, o número de replicações pode ser determinado através do método tentativa-erro onde se assumem normalmente 10 replicações de início e após visualização dos intervalos obtidos se vão acrescentando replicações até obter a amplitude desejada. Para modelos mais demorados pode-se determinar qual o número ideal de replicações através da definição inicial dos intervalos de confiança a utilizar.

2.3. COMPONENTES DA SIMULAÇÃO

“Although there are various flavors and paradigms in discrete-event simulation, there has evolved a basic structure that is used by most simulation packages. Regardless of how complex a discrete-event simulation package may be, it is likely to contain the basic components (...). The structural components of a discrete-event simulation include entities, activities and events, resources, global variables, a random number generator, a calendar, system state variables and statistics collectors.” (Ingalls, 2013)

ENTIDADES

As entidades são componentes (pessoas, objetos ou informação) que se movimentam através do sistema causando mudanças de estado, afetam e são afetadas por outras entidades e pelo próprio estado do sistema, e afetam o desempenho das medidas do *output*. São os objetos dinâmicos na simulação e normalmente são criadas, movimentadas e processadas sendo que no fim deixam o sistema. Contudo, é possível que algumas entidades nunca deixem o sistema, estando sempre a circular. As entidades representam os objetos que podem ser individualmente identificados e processados sendo que cada uma possui características próprias.

“The best way to understand the function of an entity is understand that entities cause changes in the state of the simulation. Without entities, nothing would happen in a simulation.” (Ingalls, 2013)

ATRIBUTOS

Para individualizar as entidades podemos caracterizá-las através de atributos. Um atributo é comum a todas as entidades, mas com um valor específico que varia de entidade para entidade. Os atributos podem ser prioridades, cores, entre outros.

“Entities have attributes. Attributes are characteristics of a given entity that are unique to that entity. Attributes are critical to the understanding of the performance and function of entities in the simulation.” (Ingalls, 2013)

ATIVIDADES E EVENTOS

Atividades são os processos e a lógica dentro da simulação. Eventos são condições que ocorrem num determinado momento, causando mudanças no estado das entidades do sistema. Uma entidade interage com outras atividades criando eventos. Na simulação existem três tipos principais de atividades: *delays*, filas de espera e atividades lógicas. Os *delays* acontecem quando uma entidade é retida por um período finito de tempo.

“In general, the length of time for a delay is either constant or is randomly generated. At the point that the entity starts the delay, an event occurs. This event schedules the entity on the calendar. If the delay is for d time units, then the entity is scheduled to complete the delay d time units after the current time of the simulation. At that time, the delay expires and another event is generated.” (Ingalls, 2013)

Quando a capacidade de um recurso se encontra no limite máximo, as entidades não o conseguem ocupar, ficando numa fila de espera enquanto aguardam que o recurso seja libertado. Uma vez libertado, o recurso recolhe à entidade da fila de espera. As filas possuem nomes e capacidades, além de regras para ordenar as entidades, tais como, a primeira entidade a entrar é a primeira a sair (*First In First Out - FIFO*) ou de acordo com as características da entidade.

As atividades lógicas permitem à entidade afetar o estado do sistema através da manipulação do estado das variáveis ou decisões lógicas.

VARIÁVEIS

Uma variável é um “pedaço de informação” que reflete características do sistema, independentemente do número de variáveis existentes. Podem existir diferentes variáveis num modelo, mas cada uma é única. Existem dois tipos de variáveis, variáveis construídas pelo ARENA (número em fila de espera, número de recursos ocupados, duração da simulação, entre outros) e variáveis definidas pelo utilizador (turnos, horários, etc.). As variáveis, ao contrário dos atributos, não são específicas de uma entidade; elas caracterizam o sistema como um todo e são acessíveis por todas as entidades, sendo que muitas podem mudar com qualquer entidade.

“Discrete event simulations model stochastic behavior by specifying probabilities or probability distributions for random variables used in the model. These random variables affect the dynamic behavior of the model. They might include inter arrival times, service times, times between machine maintenance or failures, travel times, route choice, defect probability, and so forth. Often these probabilities or distributions are estimated from samples of real-world data.” (Barton, 2012)

RECURSOS

As entidades competem entre si para serem servidas pelos recursos (pessoas, equipamentos, etc.). A entidade ocupa o recurso quando este se encontra disponível e é libertada quando este termina a operação. O recurso pode atender mais do que uma entidade, dependendo da sua capacidade. A um recurso podem-se associar falhas, manutenções, inatividades ou outros estados.

GERADOR NUMÉRICO ALEATÓRIO

Todos os pacotes de simulação têm um gerador numérico aleatório. Este gerador consiste numa rotina de *software* que gera números aleatórios entre 0 e 1 usados para construir uma amostragem com distribuições aleatórias.

“Everything that is random in the simulation uses the random number generator as an input to determine values.” (Ingalls, 2013)

CALENDÁRIO

Em simulação existe apenas um calendário que consiste numa lista de eventos agendados para ocorrer no futuro por ordem cronológica de ocorrência.

ACUMULADORES ESTATÍSTICOS

Os acumuladores estatísticos são variáveis que permitem medir o desempenho do sistema. Possuem este nome porque vão acumulando valores no tempo, para depois receberem tratamento de análise e gerar as estatísticas da simulação. Existem três tipos diferentes de acumuladores estatísticos: contadores, cuja função é contar, *time-persistent*, relativas ao tempo médio das variáveis na simulação (por exemplo, número médio de pessoas em fila de espera), e *tally statistics*, estatísticas que são recolhidas uma de cada vez sem ter em conta o tempo entre as observações (por exemplo, o tempo que uma entidade fica no sistema). O valor da estatística calcula-se ao mesmo tempo que as entidades vão passando pelo ponto onde se calcula.

ESTAÇÕES

São localizações físicas ou lógicas. Geralmente, os recursos encontram-se posicionados nestes locais sendo que as entidades se movimentam entre elas.

ROTAS

As entidades efetuam movimentações pelo sistema através das conexões dos módulos lógicos. Podem existir ligações lógicas entre os módulos, sendo então a

entidade transportada diretamente. Contudo, quando estas ligações não existem, a entidade é enviada através de um sistema de transporte ou por si própria; para isso é necessário definir trajetos e tempos de deslocamento.

2.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Na primeira parte deste capítulo foi abordada a filosofia *Lean* e algumas das suas ferramentas (5S's, trabalho padronizado, balanceamento de linhas de montagem, entre outras) que, apesar da sua simplicidade, garantem diversos benefícios contribuindo significativamente para a melhoria dos processos produtivos mesmo os das pequenas e médias empresas. A segunda parte abordou os estudos de simulação, com ênfase no software ARENA, que permitem testar diferentes cenários sem interferir com o sistema real e quantificar possíveis ganhos ou perdas sem causar desperdícios, tais como, tempo e dinheiro.

Os conceitos abordados (ferramentas *Lean* e simulação), foram utilizados no projeto desenvolvido no Pólo II da Mercatus, dedicado à produção de câmaras de refrigeração e abatedores de temperatura, tendo como principal objetivo a aumento da eficiência daquela unidade produtiva. Mais concretamente, utilizando o *Lean* para caracterizar alguns dos seus desperdícios e implementando ações que permitem assegurar a melhoria contínua sustentada; quanto ao estudo de simulação, permitiu determinar qual o melhor balanceamento de uma das linhas de montagem.

Capítulo 3

CASO DE ESTUDO

3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Mercatus Refrigeração e Estruturas Metálicas d'Alagôa, S.A é uma empresa especializada na produção de refrigeração comercial para o sector HORECA, principalmente bancadas e armários refrigerados em aço inoxidável e câmaras frigoríficas. Atualmente, as instalações da Mercatus são constituídas por duas fábricas em Águeda, Portugal, um centro logístico na Itália e uma fábrica no Brasil.

A empresa foi fundada em 1995, fig. 18, tendo sido o Pólo II adquirido em 2003. O Pólo I tem cerca de 124 colaboradores dedicando-se principalmente à produção de bancadas e armários refrigerados. O Pólo II tem 43 trabalhadores e dedica-se principalmente à produção de câmaras frigoríficas. A Mercatus tem uma grande diversidade de produtos de forma a responder a todas as necessidades dos seus clientes.

1995	Constituição
1996	Produção em série
1997	Feira Expo Tour, Milão
1998	Certificação ISO 9002
1999	Prémio APCRI - Associação Portuguesa de Capital de Risco
2000	Feira Hotel Asia, Singapura
2001	Novas Instalações - 9000m ²
2002	Marca "Linea4"
2003	Aquisição da empresa Júlio Ramalho
2004	Criação da Estrutura Mercatus Itália
2005	Lançamento internacional das câmaras frigoríficas
2006	Feira NRA, Chicago
2007	Certificação UL
2008	Certificação ISO 14001
2009	Aquisição de participação maioritária na empresa Klimaquip Brasil

Figura 18: Cronograma da empresa

Presente em mais de 30 países, fig. 19, a Mercatus exporta 95% da sua produção, com uma forte presença na Europa. A marca é igualmente bem aceite em mercados distantes como o Médio Oriente, Ásia e Austrália.

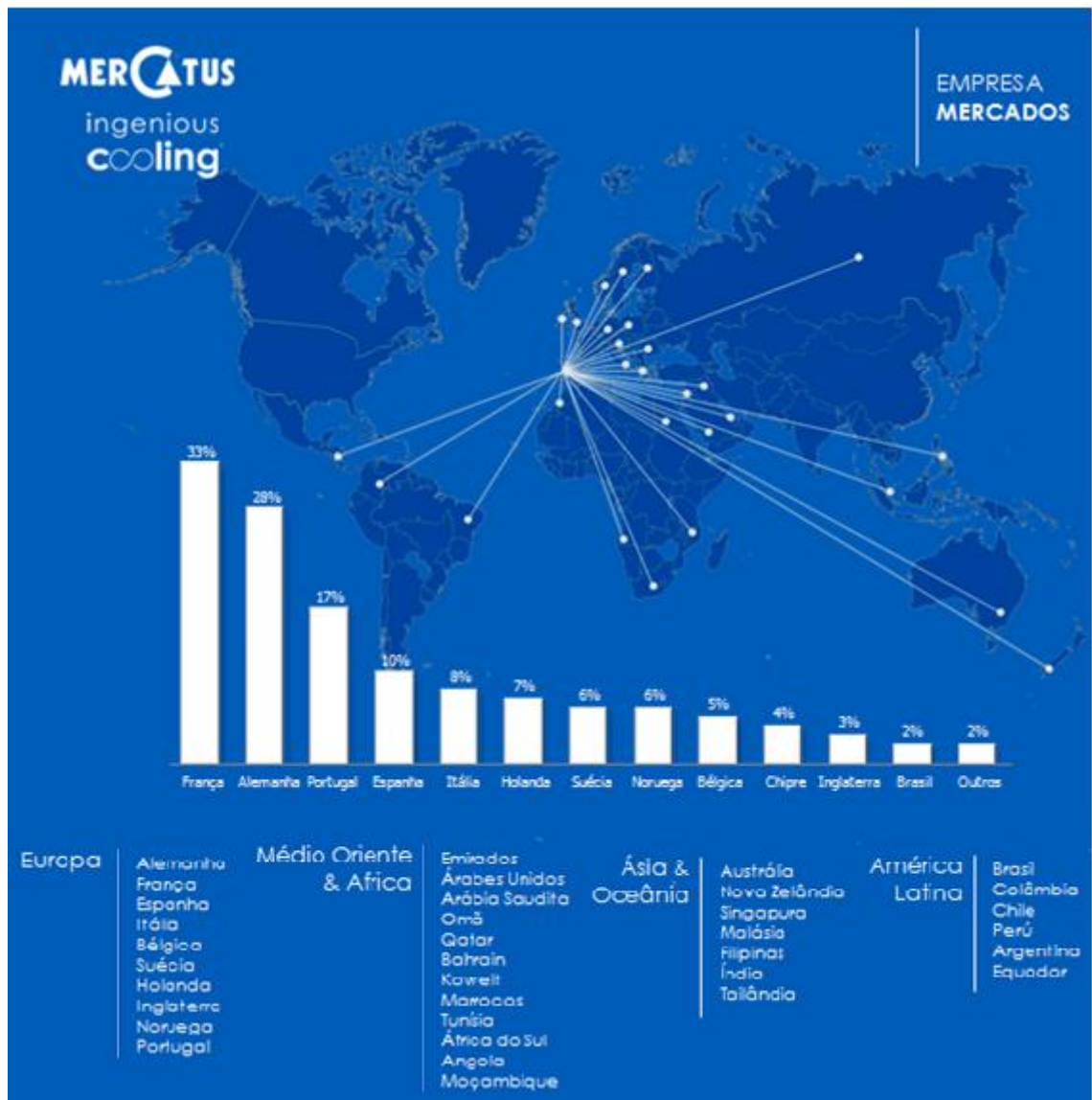


Figura 19: Mercados de atuação da Mercatus

3.1.1. PRODUTOS

A Mercatus tem uma gama alargada e diversificada de produtos. Na figura 20 estão presentes exemplos das diferentes categorias de produtos, bem como a importância de cada uma para as vendas da empresa.



Figura 20: Produtos produzidos pela Mercatus em cada Pólo e o respectivo peso nas vendas em 2012

Os produtos produzidos no Pólo II da Mercatus podem ser subdivididos em 3 categorias: câmaras O's, câmaras V's e abatedores (fig. 21).



Figura 21: Produtos produzidos no Pólo II e o peso destes nas suas vendas

Tanto as câmaras O's como as câmaras V's são constituídas por 2 partes: a câmara (estrutura) e o grupo refrigerador. Estas câmaras, devido às suas dimensões, são enviadas para os clientes desmontadas de forma a serem mais práticas quer de transportar quer de instalar no local de utilização.

3.2. PROCESSO PRODUTIVO DO PÓLO II

Na tabela 2 está descrito todo o processo produtivo do Pólo II e na figura 22 está representado o *layout* da empresa.

Tabela 2: Diagrama produtivo

Diagrama de fabrico – Pólo II	Descrição
<pre> graph TD A[Armazém de Chapa] -- 1 --> B[Punçoadora] B -- 2 --> C[Quinadoras] C -- 3 --> D[Linhas de montagem] C -- 3 --> E[Injeção] F[Armazém de Componentes] -- 4 --> D G[Armazém de Poliuretano] -- 5 --> E D -- 6 --> H[Embalagem Grupos] E -- 7 --> I[Embalagem Painéis] H -- 8 --> J[Armazém Produto Acabado] I -- 9 --> J </pre>	<p>1 – Existe um armazém onde se encontra todo o tipo de chapa utilizado na produção. A chapa sai do armazém diretamente para a máquina de puncionar.</p> <p>2 – Na máquina de puncionar é feita a transformação de chapa. A chapa é cortada e furada. Os desperdícios produzidos nesta operação são reciclados. As peças fabricadas na máquina de punçar vão para as quinadoras.</p> <p>3 – Nas quinadoras as peças são quinadas e seguem para a injeção ou para a linha de montagem. Nesta operação não são produzidos desperdícios.</p> <p>4 – No armazém de componentes estão armazenados todos os artigos de compra que incorporam o produto. Estes saem do armazém para a linha de montagem e para a injeção.</p> <p>5 – Neste armazém encontra-se o poliuretano, que alimenta a injeção.</p> <p>6 – Na linha, são montados os produtos. É também feita a carga de gás (frigorigénio), com uma máquina própria para o efeito, em que não é necessário fazer acertos das quantidades. Não existem fugas de gás R. A todos os produtos eletrificados é feito o teste de Rigidez Dielétrica e de Continuidade. São também ensaiados, em termos de funcionamento. Nos restantes é apenas feito um controlo visual.</p> <p>7 – Na secção de injeção as peças são calafetadas e injetadas. A injeção é feita numa máquina de alta pressão. Os desperdícios são reduzidos.</p> <p>8 e 9 – Depois de controlados, os produtos são embalados em caixas de cartão com cintas ou fita de embalagem. São colocados em paletes. Os produtos depois de embalados são expedidos ou são colocados no armazém de produto acabado.</p>

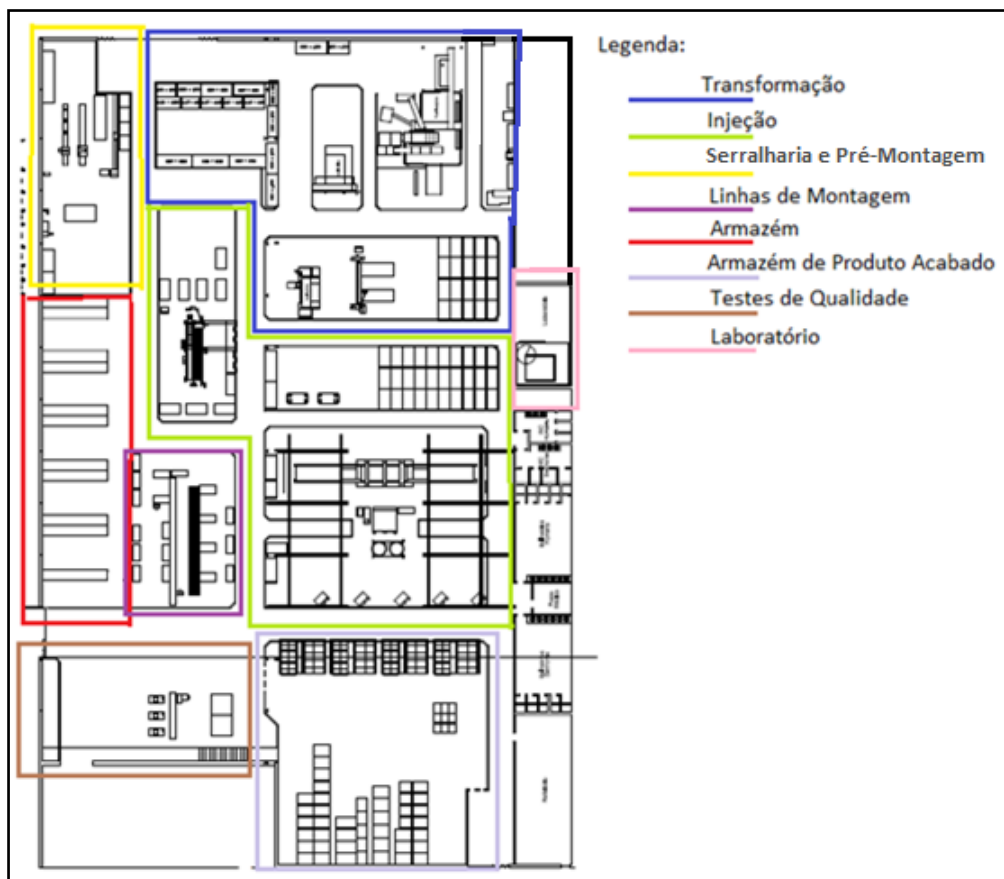


Figura 22: Layout do Pólo II

Nem todas as secções da empresa trabalham o mesmo número de horas. Na secção da transformação e da injeção existem 3 turnos que trabalham 5 dias por semana. Tudo o resto funciona com um turno durante os 5 dias da semana com a exceção da linha de montagem dos grupos V's cujos colaboradores trabalham 2 a 3 dias neste posto e o resto da semana na calafetagem dos grupos V's. Através da fotografia (fig. 23) podemos ver as 3 linhas de montagem do Pólo II.



Figura 23: Linhas de montagem

3.3. ETAPAS DO PROJETO

A introdução da filosofia *Lean* no Pólo II foi constituída por diversas etapas. Cada uma delas foi abordada num dos seguintes subtemas:

- **Remodelação do armazém e supermercado:**
 - Transferência da serralharia e a pré-montagem para uma nova localização (no caso da pré-montagem esta localização foi provisória);
 - Reorganização do armazém (aumentar área disponível, implementar a metodologia 5S's, criar de uma zona de *picking* para o abastecimento das linhas, definir a nova localização do supermercado e atualizá-lo);
 - Transferência da pré-montagem para a nova localização.
- **Estudo da linha de montagem dos grupos O's:**
 - Estudo aprofundado do processo de montagem dos grupos O's (determinar quais as atividades que criam valor e as que geram desperdícios, analisar o consumo de componentes e atualizar as *Bill of Materials* (BOM));
 - Alteração do *layout* da linha de montagem dos grupos O's, criação de carrinhos para o abastecimento diário, implementação da metodologia 5S's e criação de documentação de apoio ao operador logístico.
- **Alterações ao *layout* das restantes linhas:**
 - Estudo do processo de montagem dos grupos V's (análise dos componentes consumidos na linha, criação de documentação definindo o que entregar e onde para auxiliar o operador logístico, e atualização das BOM);
 - Transferência da linha de montagem dos grupos V's para a nova localização (criação de carrinhos para o abastecimento diário e implementação da metodologia 5S's);
 - Criação de um posto para a montagem de mini câmaras (novo produto), elaboração de instruções de montagem (IDM's) e ajudas visuais, e desenvolvimento de documentação para auxiliar o operador logístico;
 - Alteração do *layout* da linha de montagem dos abatedores, criação dos carrinhos para o abastecimento diário, implementação da metodologia 5S's e criação de documentação de apoio ao operador logístico.
- **Implementação da metodologia 5'S:**
 - Criação de uma área para o depósito do material da transformação já quinado enquanto este aguarda até ser necessário;
 - Descrição da aplicação da metodologia nas linhas de montagem e no armazém.

- **Abastecimento das linhas de montagem:**
 - Análise do abastecimento;
 - Descrição da criação de carrinhos para o abastecimento diário, implementação da metodologia 5S's e criação de documentação de apoio ao operador logístico nas zonas acima referidas.
- **Estudo de simulação para o balanceamento da linha de montagem dos grupos O's:**
 - Elaboração de propostas de balanceamento para a linha de montagem dos grupos O's.

A proposta de balanceamento não foi implementada, pois a empresa apenas autorizou a contratação de um novo colaborador inicialmente idealizado para realizar a logística interna e dar apoio ao armazém. Porém, devido ao lançamento de um novo produto optou-se por transferir um dos colaboradores da linha de montagem dos grupos O's (com basta experiência). O novo colaborador foi colocado na vaga deixada na linha, pois este posto requer menos tempo de aprendizagem, implicando a atribuição do colaborador da pré-montagem à logística interna.

3.4. REMODELAÇÃO DO ARMAZÉM E SUPERMERCADO

A área reservada para o armazém já não possuía capacidade para albergar todos os componentes e, portanto, foi necessário aumentar essa área, passando dos 233,1 m² para os 318,4 m². Como podemos ver pelas figuras (fig. 24 e 25) esta mudança implicou que também se fizessem alterações na localização da serralharia e pré-montagem, optando-se por separar a zona da serralharia da pré-montagem.

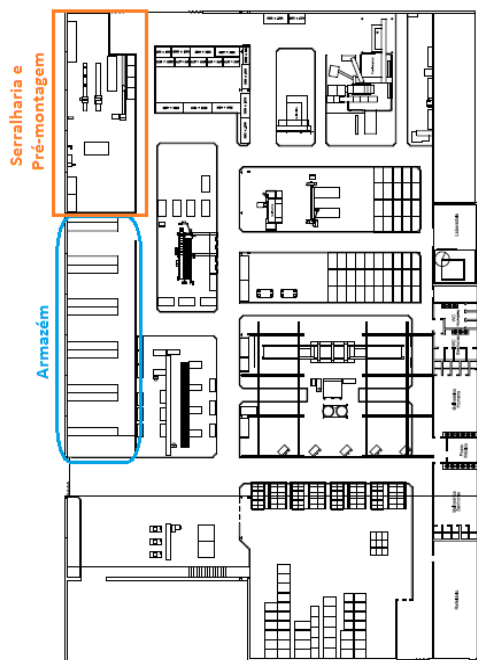


Figura 24: Layout antes das alterações

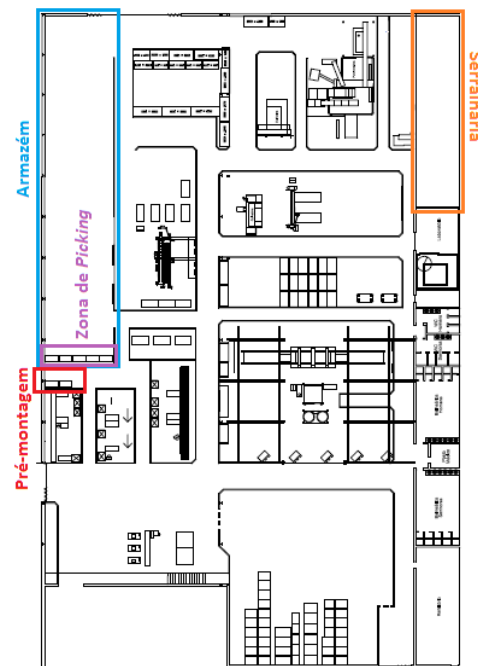


Figura 25: Layout depois das alterações

A zona da serralharia foi transferida para uma zona que antes funcionava como um depósito de matérias e ferramentas que já não eram utilizados (muitos deles ainda dos antigos proprietários). Depois de se proceder à limpeza do espaço, a secção da serralharia e pré-montagem foi transferida para este espaço. Para a pré-montagem esta transferência foi temporária (enquanto se procedia à organização do armazém) optando-se por transferi-la para junto das linhas, local onde os subprodutos produzidos são consumidos.

Entre a pré-montagem e o armazém foi criada uma zona de *picking* (separação e preparação de pedidos) de todos os componentes provenientes do armazém cujo destino são as linhas de montagem (exceto os presentes no supermercado) facilitando assim o seu abastecimento diário.

No supermercado (fig.26), localizado numa das fronteiras entre o armazém e a zona de produção, estão presentes 75 componentes diferentes que abastecem, maioritariamente, as linhas de montagem. Anteriormente estes componentes tinham três possíveis localizações, o supermercado e mais dois locais no interior do armazém (fig. 26, 27 e 28).

Uma das localizações no interior do armazém (fig. 27) corresponde aos componentes cujas embalagens já foram abertas. Na outra localização (fig. 28) estão armazenados as caixas dos componentes que ainda estão intactas, sem nenhuma organização específica, sendo que a única identificação presente é a dos fornecedores.



Figura 26: Supermercado

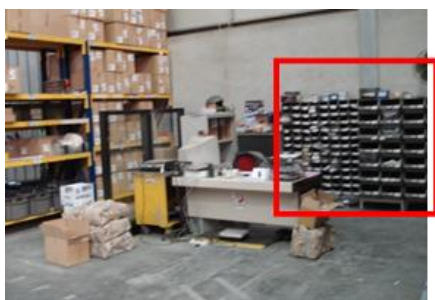


Figura 27: Componentes com a embalagem aberta



Figura 28: Componentes com a embalagem intacta

Todas estas localizações tornam o processo de reabastecimento do supermercado complexo (fig. 29) levando à geração de desperdícios.

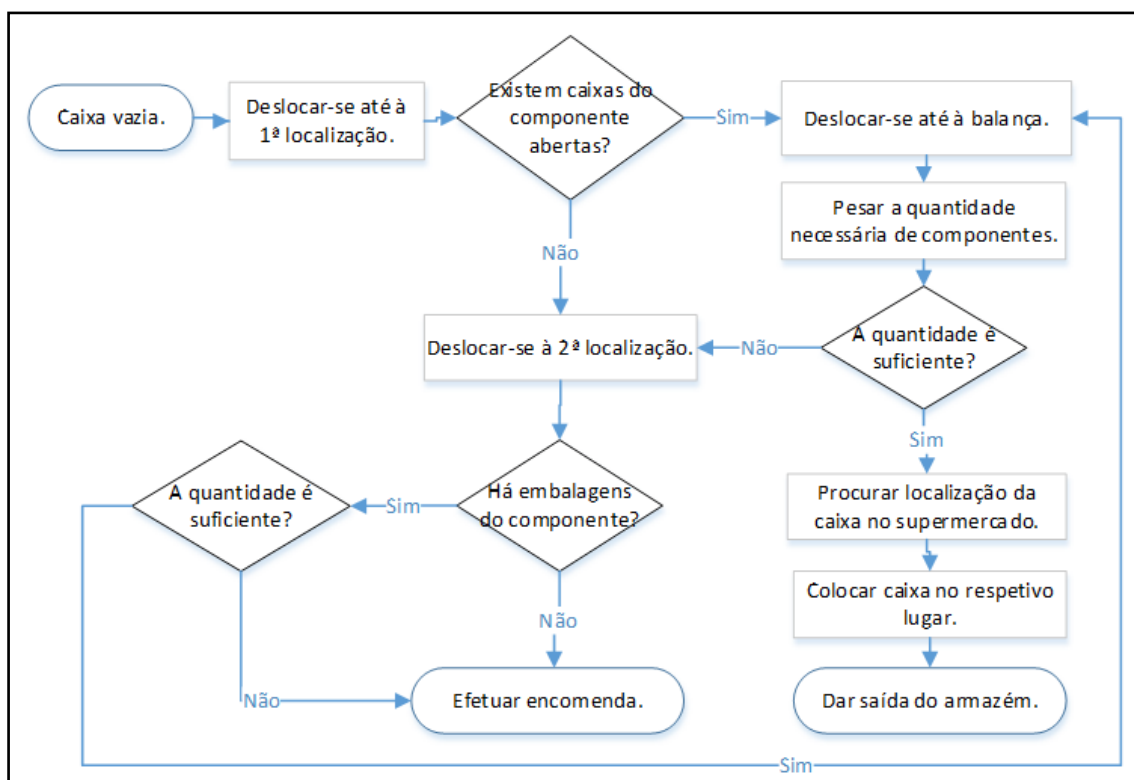


Figura 29: Fluxograma para o reabastecimento do supermercado (antes das alterações)

Atualmente existem apenas duas localizações (o supermercado e mais uma no interior do armazém). Sempre que possível, as quantidades dos componentes do supermercado foram ajustadas de forma a fazerem coincidir as necessidades com as quantidades dos fornecedores, simplificando assim tanto o armazenamento (deixando de existir caixas abertas) como a reposição do supermercado (deixa de ser necessário contar os componentes). Além disso, estabeleceu-se que o *stock* mínimo dos componentes presentes no supermercado era a quantidade de uma caixa evitando assim a rutura destes componentes. Além de se atualizarem as quantidades também se substituíram alguns componentes cujos consumos eram baixos por outros cujos consumos aumentaram. Na figura 30 está descrito o novo processo de reabastecimento do supermercado.

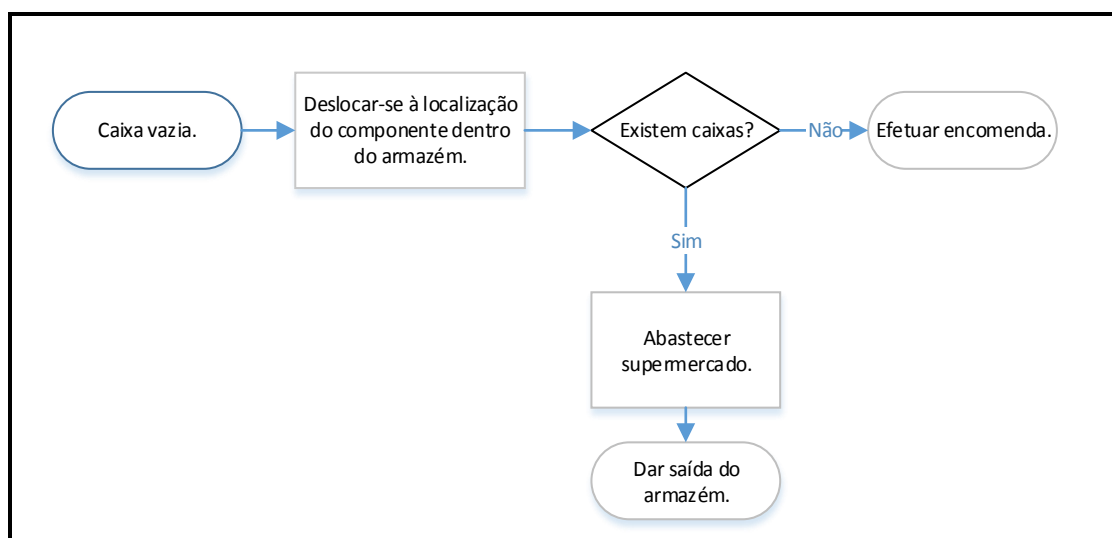


Figura 30: Fluxograma para o reabastecimento do supermercado (depois das alterações)

As posições dos componentes no supermercado foram marcadas nas respetivas caixas facilitando assim o seu abastecimento, pois o colaborador deixa de procurar qual o lugar do componente no supermercado e consegue identificar de imediato a sua localização, reduzindo o tempo necessário para completar todo processo (fig.31).



Figura 31: Coordenadas do supermercado

Atualmente o supermercado encontra-se mais próximo das linhas de montagem (onde são consumidos a grande maioria dos componentes), diminuindo a distância percorrida por cada colaborador, e mais perto da secretária do responsável pelo armazém, facilitando assim a visualização das necessidades de reabastecimento (fig. 32).

Tudo isto permitiu a eliminação de tarefas que não eram realmente necessárias agilizando todo o processo e permitindo a redução de diversos desperdícios.

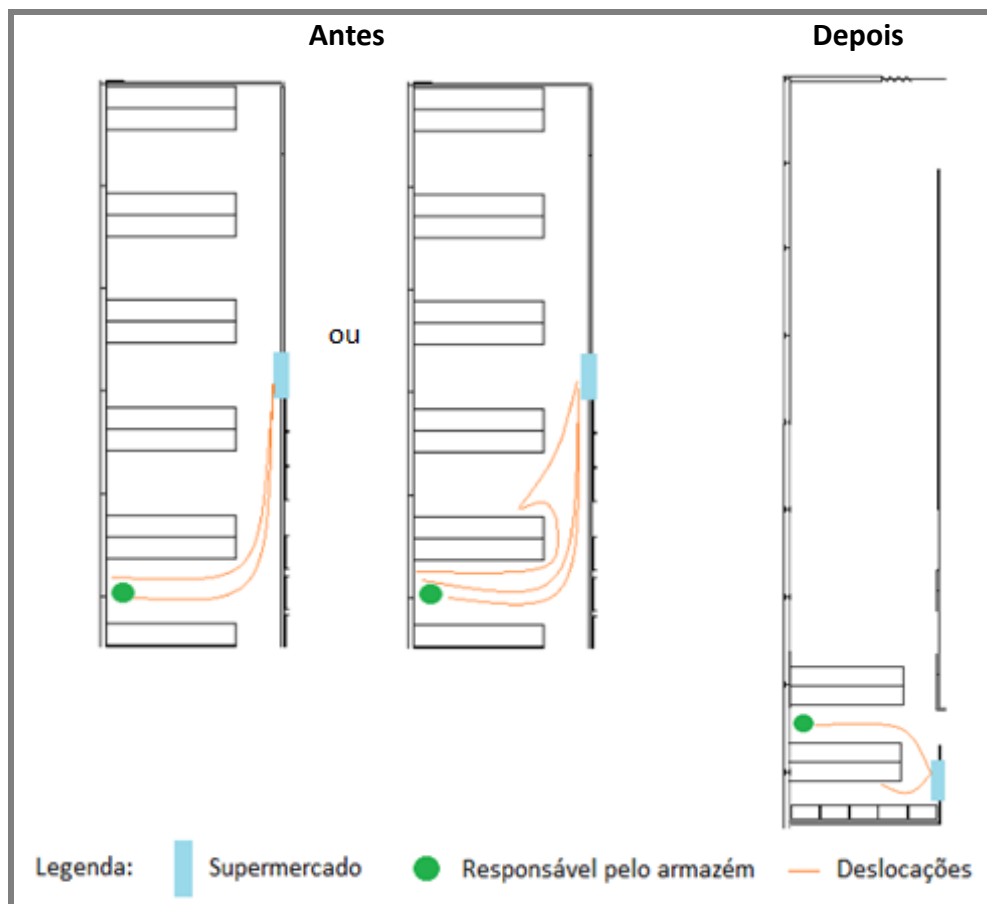


Figura 32: Diagrama de *spaghetti* antes (à esquerda) e depois (à direita) das alterações

Na tabela 3 temos representados alguns dos ganhos obtidos pelos colaboradores que mais interagem com o supermercado através destas mudanças. Contudo, os mais importantes são os obtidos pelo colaborador responsável pelo armazém e pelo colaborador da pré-montagem, pois assim que o abastecimento destes componentes passe a ser realizado pelo operador logístico, as deslocações efetuadas pelos operadores das linhas de montagem serão eliminadas.

Tabela 3: Melhorias conseguidas com as mudanças na gestão do supermercado

		Antes	Depois	Melhoria
Responsável pelo armazém				
Distância percorrida (m)		31,7 (ou 45,7 no pior cenário)	8,3	73,8%*
*Calculo efetuado considerando a distância 31,7m.				
Tempo do abastecimento		=Tempo da deslocação + tempo da procura do componente + tempo de procura da posição do componente no supermercado	=Tempo da deslocação + tempo da procura do componente	▪Diminuição do tempo da deslocação; ▪Diminuição do tempo de procura do componente; ▪Eliminação do tempo de procura da posição no supermercado;
Distância percorrida por outros colaboradores (m)				
Grupos O's	P1	8,6	7,3	15,1%
	P2	10,8	8,9	17,6%
	P3	12,7	10,8	15,0%
Grupos V's	P1	4,2	7,3	-73,8%
	P2	5,3	8,9	-67,9%
Abate-dores	P1	12,6	7,9	37,3%
	P2	15,6	8,6	44,9%
	P3	18,1	11,8	34,8%
Pré-montagem		19,1	5,71	70,2%
Tempo para o abastecimento dos colaboradores				
		=Tempo das deslocações + tempo de procura	=Tempo das deslocações	▪ Eliminação do tempo de procura

No ponto **3.7 – Implementação da metodologia 5S's** está descrito como a metodologia foi implementada em diversas zonas das instalações inclusive no armazém.

3.5. ESTUDO DA LINHA DE MONTAGEM DOS GRUPOS O'S

A linha de montagem dos grupos O's dedica-se à montagem dos grupos de refrigeração das câmaras O's. Existem diferentes grupos, pois quanto maior for o tamanho das câmaras mais potência terá que ter o grupo para conseguir refrigerar a área. A tabela 4 apresenta uma lista dos diferentes produtos em que todos eles, exceto a câmara de vinhos, têm duas versões (linhas de produtos), a ECO (fig. 33) e a SMART (fig. 34). As maiores diferenças entre estas duas linhas são meramente estéticas. Os grupos *High Efficiency Gene* (HEG) permitem oferecer uma versão mais ecológica aos consumidores, pois possibilitam maior eficiência energética. Existem também as

versões para as câmaras mais altas cuja designação normal é acompanhada pela descrição Pannel Alto (fig. 35).

Tabela 4: Modelos dos grupos de refrigeração das câmaras O's

Grupos para câmaras de refrigeração	Grupos para câmaras de congelação
Positivo 1	Negativo 1
Positivo 2	Negativo 2
Positivo 3	Negativo 3
Positivo 4	Negativo 4
Positivo 1 HEG	Negativo 1 HEG
Positivo 2 HEG	Negativo 2 HEG
Positivo 3 HEG	Negativo 3 HEG
Positivo 4 HEG	Negativo 4 NEG
Positivo 1 Pannel Alto	Negativo 1 Pannel Alto
Positivo 1 HEG Pannel Alto	Negativo 1 HEG Pannel Alto
Positivo 2 Pannel Alto	Negativo 2 Pannel Alto
Positivo 2 HEG Pannel Alto	Negativo 2 HEG Pannel Alto
Positivo 3 Pannel Alto	Negativo 3 Pannel Alto
Positivo 3 HEG Pannel Alto	Negativo 3 HEG Pannel Alto
Positivo 4 Pannel Alto	Negativo 4 Pannel Alto
Positivo 4 HEG Pannel Alto	Negativo 4 HEG Pannel Alto
Grupo de refrigeração das câmaras de vinho	



Figura 33: Exemplo de um produto da linha ECO



Figura 34: Exemplo de um produto da linha SMART



Figura 35: Exemplo de um produto SMART Pannel Alto (Ao centro)

A linha de montagem dos grupos O's é constituída por três postos de trabalho, cada um com um colaborador. As diferenças entre as linhas de produto não têm qualquer impacto nos tempos de montagem dos postos 1 e 2, porém no posto 3 existe uma pequena diferença nos tempos de montagem devido aos microprocessadores. Contudo, o impacto nas vendas da linha SMART é muito superior; portanto, para efeitos de simplificação do estudo da linha, apenas foi considerada a linha SMART. O

produto escolhido foi o grupo positivo 1 (P1) por ser o que mais peso representa nas vendas destes produtos (fig. 36).

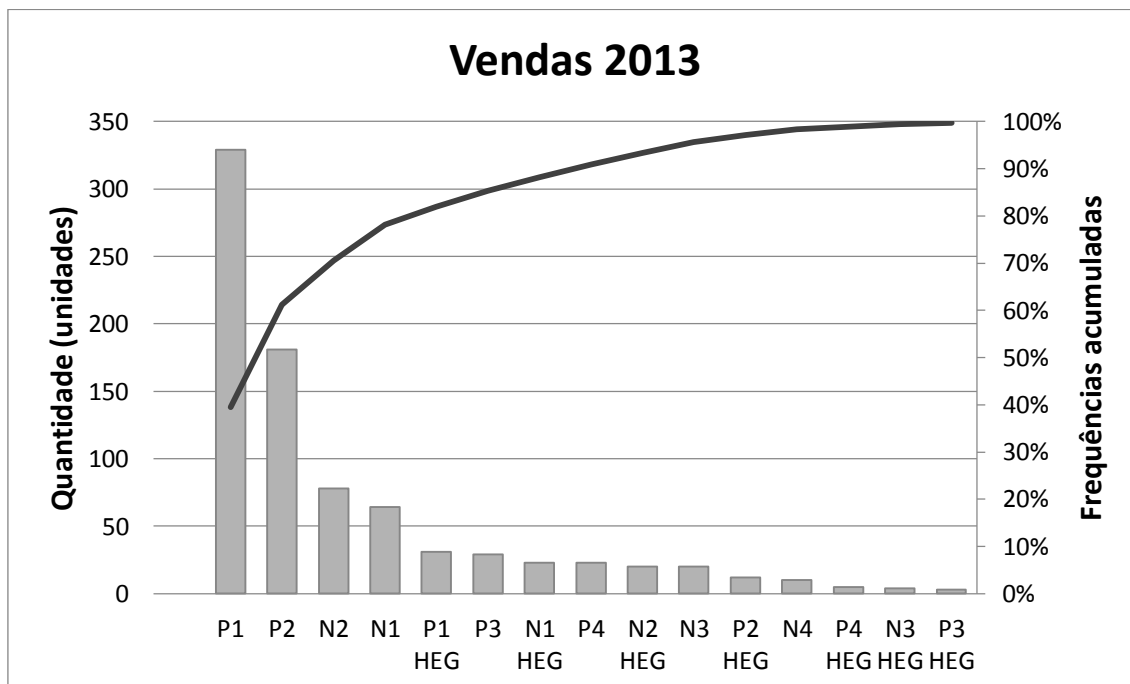


Figura 36: Gráfico referente às vendas dos grupos O's de 2013

3.5.1. IDENTIFICAÇÃO DOS DESPERDÍCIOS

De forma a averiguar os desperdícios presentes no processo de fabrico desta linha procedeu-se à:

- Observação do processo;
- Análise e registo das tarefas;
- Medição e registo dos tempos dessas mesmas tarefas;
- Análise de opiniões e sugestões dos colaboradores;
- Elaboração de diagramas de *spaghetti*.

Inicialmente foram identificados os grandes desperdícios, ou seja, as deslocações para fora da área dos respetivos postos de trabalho. Para tal foram utilizados os diagramas de *spaghetti* que apesar de serem uma ferramenta de simples aplicação auxiliam a visualização dos desperdícios referentes às movimentações desnecessárias. Sendo que, muitas das vezes, estas movimentações são o reflexo de processos mal organizados.

Todos os diagramas de *spaghetti* foram elaborados para o processo de montagem do mesmo produto, o Grupo Positivo 1.

Na legenda das figuras com os diagramas de *spaghetti* temos cada deslocação diferente representada por cores distintas, sendo que a estas está atribuído o número de vezes que a deslocação se repete num dos sentidos.

A partir da análise da figura 37 foi possível observar que no posto 1 existiam as seguintes deslocações que implicavam a saída do posto de trabalho:

- Recolher a base do grupo (—);
- Recolher/utilizar algumas ferramentas partilhadas com o posto 2 (—);
- Alcançar maçarico para soldar, partilhado com o posto 2 (—);
- Recolher componentes na estante (—);
- Recolher componentes que não cabiam na estante (—);
- Recolher carros para os painéis dos grupos (—);
- Recolher os painéis dos grupos (—);

Apesar de não estarem representadas no diagrama existiam, também, deslocações para ir buscar tubos de cobre ao armazém e os cortar.

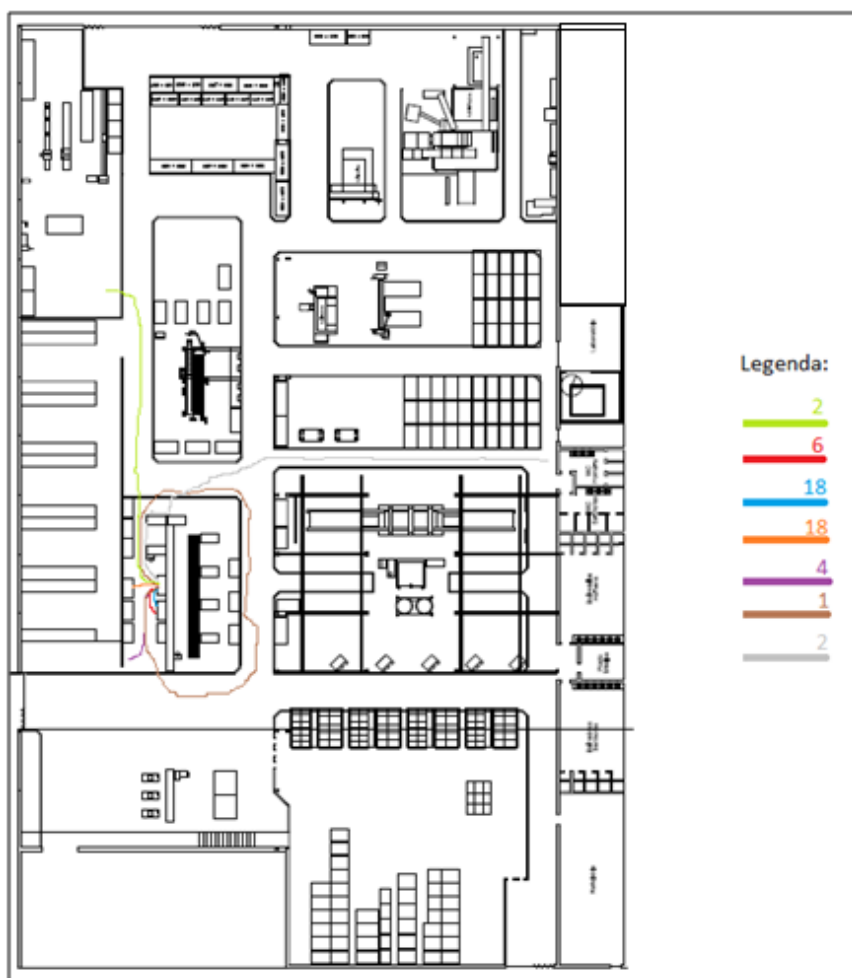


Figura 37: Diagrama de *Spaghetti* posto 1 (antes)

Através da figura 38 conseguimos observar que no posto 2 as deslocações para fora da área do posto de trabalho eram:

- Recolher componentes da estante (—);
- Recolher componentes que não cabiam na estante (—);
- Alcançar maçarico para soldar (—);

Apesar de não estarem representadas no diagrama existiam também deslocações para ir buscar tubos de cobre ao armazém e os cortar.

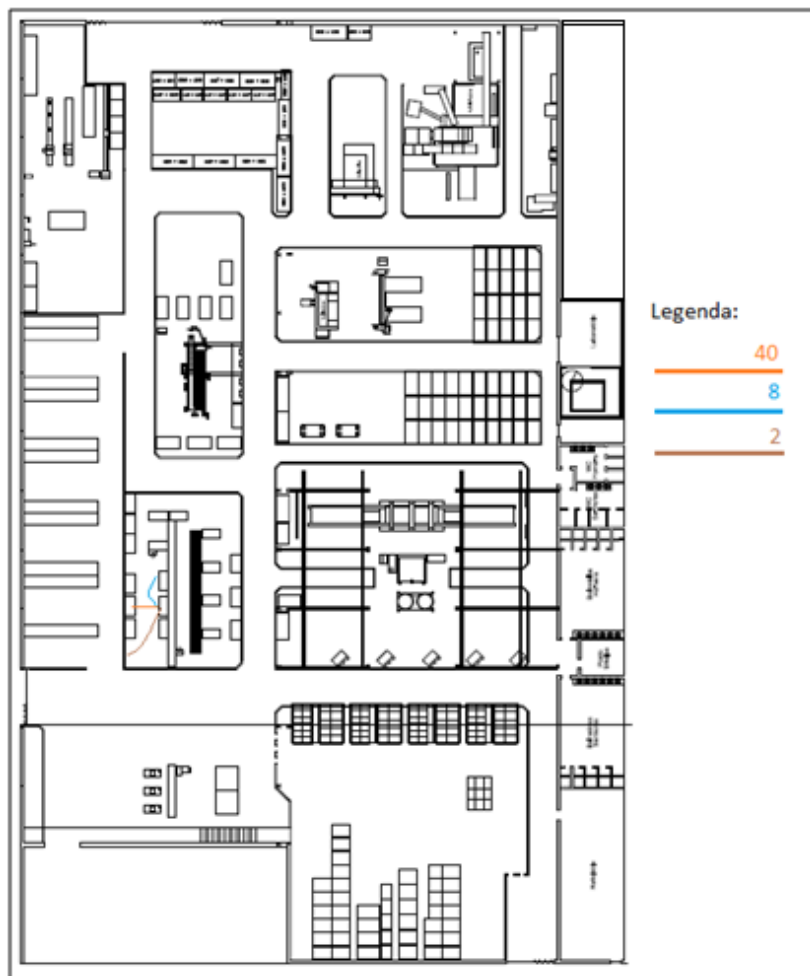


Figura 38: Diagrama de *Spaghetti* Posto 2 da Linha de Grupos O's (antes)

No posto 3 (figura 39) foram detetadas as seguintes deslocações que implicavam a saída do posto de trabalho:

- Recolher blindagem (—);
- Recolher/utilizar ferramentas do posto 1- situação anormal - (—);
- Recolher componentes da estante (—);
- Colocar grupo a carregar gás/verificar se o carregamento acabou (—);
- Levar grupo para a zona de testes (—);
- Voltar para o posto de trabalho (—);



Figura 39: Diagrama de *Spaghetti* Posto 3 da Linha de Grupos O's (antes)

3.5.2. AÇÕES DE COMBATE AO DESPERDÍCIO PURO

A análise destes diagramas foi essencial para determinar as mudanças necessárias para se obter um *layout* mais eficiente (tabela 5).

Tabela 5: Ações implementadas para eliminar os desperdícios

Desperdício	Ação	Resultado esperado	
		Eliminar	Reduzir
Posto 1			
Recolher a base do grupo	- Definir um operador logístico encarregue da distribuição do material;	✓	
Recolher/utilizar algumas ferramentas partilhadas com o posto 2	- Levantamento das necessidades de ferramentas e aquisição das mesmas; - Colocar postos frente a frente permitindo a partilha de ferramentas sem a necessidade de se efetuarem deslocações;	✓	
Alcançar maçarico para soldar partilhado com o posto 2	- Colocar postos frente a frente permitindo a partilha de ferramentas sem a necessidade de se efetuarem deslocações;	✓	
Recolher componentes na estante	- Criação de carrinhos para o abastecimento e posicioná-los na lateral da área do posto de trabalho;		✓
Recolher componentes que não cabiam na estante	- Eliminação das estantes e substituir o abastecimento semanal pelo diário;	✓	
Recolher carros para os painéis dos grupos	- Criação de uma área junto do posto de trabalho reservada para a colocação dos carros;	✓	
Recolher os painéis dos grupos	- Criação de uma área junto do posto de trabalho reservada para a colocação dos painéis;	✓	
Posto 2			
Recolher componentes da estante	- Criação de carrinhos para o abastecimento e posicioná-los na lateral da área do posto de trabalho;		✓
Recolher componentes que não cabiam na estante	- Eliminação das estantes e substituir o abastecimento semanal pelo diário;	✓	
Alcançar maçarico de soldar	- Colocar postos frente a frente permitindo a partilha de ferramentas sem a necessidade de se efetuarem deslocações;	✓	
Posto 3			
Recolher blindagem	- Definir um operador logístico encarregue da distribuição do material;	✓	
Recolher componentes da estante	- Criação de carrinhos para o abastecimento e posicioná-los na lateral da área do posto de trabalho;		✓
Colocar grupo a carregar gás	- Colocar uma máquina para a carga de gás no fim da linha;		✓
Verificar se o carregamento acabou	- Colocar uma máquina para a carga de gás no fim da linha voltada para o colaborador;	✓	
Levar grupo para a zona de testes	-	-	-

No ponto **3.7. – Implementação da metodologia 5S's** está descrito como a metodologia foi implementada em diversas zonas das instalações, inclusive nas linhas de montagem, sendo que o ponto **3.8. – Abastecimento das linhas de montagem** foca-se nas mudanças efetuadas ao abastecimento.

Na figura 40 temos o antes e depois das alterações efetuadas ao *layout* desta linha de montagem.

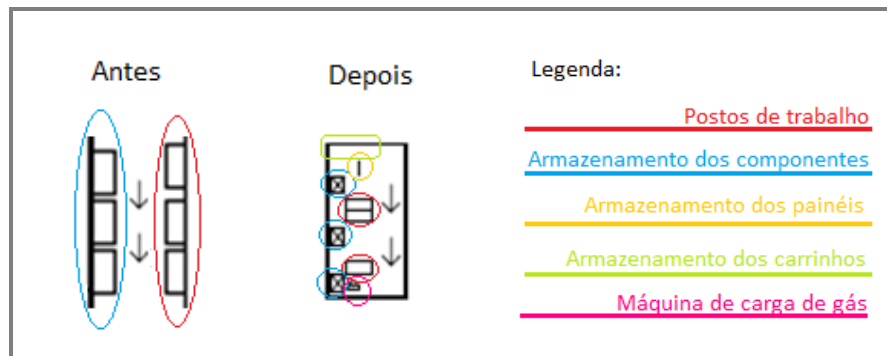


Figura 40: Alterações feitas ao *layout* da linha

3.5.3. RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DAS AÇÕES

Depois de implementadas as alterações foi elaborado um novo diagrama de *Spaguetti* (fig. 41) de forma a avaliar o resultado das medidas implementadas.

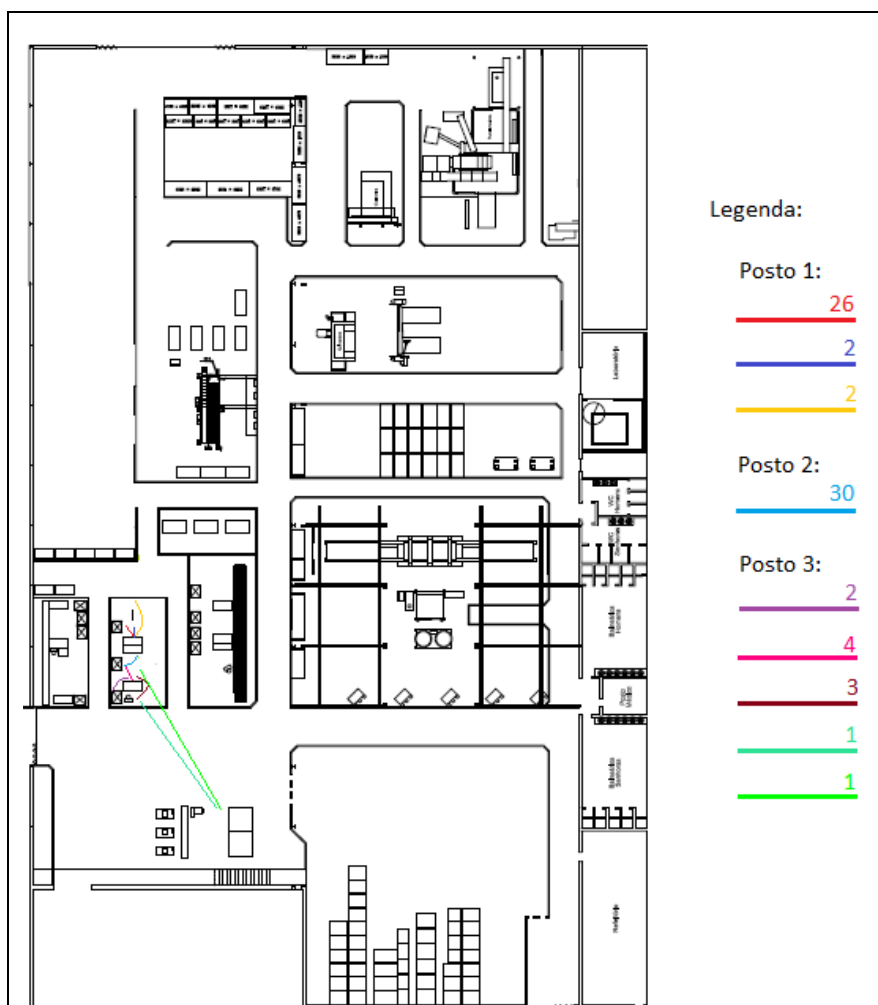


Figura 41: Diagrama de *Spagueti* Linha de Grupos O's (estado atual)

Na tabela 6 estão resumidos alguns dos ganhos conseguidos depois de eliminação dos desperdícios detetados.

Tabela 6: Melhoria conseguidas na linha dos Grupos O's

	Posto	Antes	Depois	Melhoria (%)
Distância Percorrida/Grupo (m)	1	246,0	19,1	92,2
	2	89,6	15,9	82,3
	3	113,9	34,0	70,1
Espaço ocupado (m ²)	Linha	32,7	38,1	-16,5

O facto do espaço ocupado pela linha ter aumento é justificado pela inserção de espaços para o armazenamento dos painéis, carrinhos e da máquina de carga de gás.

3.5.4. ANÁLISE E REDUÇÃO DOS DESPERDÍCIOS NECESSÁRIOS

Ainda durante a identificação dos grandes desperdícios (deslocações para fora da área dos respetivos postos de trabalho) foram identificadas deslocações para cortar os tubos de cobre.

Durante o processo de montagem de um grupo O, o posto 1 e 2 utilizam diversos tubos de cobre com comprimentos, diâmetros e dobragens diferentes. Estes postos eram responsáveis por cortar a quantidade necessária de tubo nas medidas corretas e pela dobragem dos mesmos. Habitualmente, no início da semana, os colaboradores cortavam toda a quantidade de tubo necessária e levavam-na para os postos de trabalho e, à medida que iam precisando dos tubos, procediam à dobragem dos mesmos. Devido à existência de um posto unicamente dedicado à dobragem de tubos no Pólo I e de semanalmente já serem transportados alguns componentes do Pólo I para o Pólo II optou-se por retirar estas tarefas da linha e transferi-la para o posto no Pólo I.

Tendo em conta a desatualização e inexistência de informação foi necessário proceder-se à recolha de novos dados. A informação a recolher era composta por código (se existente), descrição, diâmetro do tubo, comprimento, peso, amostra e campo de aplicação. A recolha das amostras foi necessária, pois não existiam desenhos da grande maioria dos tubos. Devido à desatualização de muita da informação, grande parte das amostras não estavam estruturadas (*Bill of Materials* desatualizadas), ou seja, não existia qualquer tipo de registo desta informação.

A tabela 7 foi elaborada com base num Grupo Positivo 1 por ser o produto que mais peso possui sobre as vendas; contudo este é também o produto mais simples e, portanto, o que menos tubos utiliza.

Tabela 7: Ganhos com a transferência do corte e dobragem de tubos de cobre

Tubo		Número de dobras	≈Tempo de efetuar uma dobra (seg)	≈Tempo de cortar tubo (seg)	TOTAL (seg)
Posto 1	Tubo de Cobre Filtro/Capilar P1/2/3/4-N1/2	1	30	90	120
	Tubo de Cobre Condensador/Filtro P1/2/3-N1/2	2			150
	Tubo de Cobre Electroválvula/T	3			180
	Tubo de Cobre Compressor/T Positivo 1	1			120
	Tubo de Cobre 5/16 Compressor/Válvula P1	0			90
Total					579 (≈ 9,7 min)
Posto 2*	Tubo de Cobre Entrada Descongelação P1/2-N1/2 Normal e HEG	0	30	90	90
	Tubo de Cobre Aspiração P1/2	1			120
Total					240 (≈ 3,5 min)
*Obs.	Ambos os tubos de cobre utilizados por este posto necessitam de mais dobras; contudo devido à configuração do produto estas apenas podem ser efetuadas depois da inserção dos mesmos.				

Além de se eliminarem tarefas dos postos de trabalho e deslocações, e consequentemente se reduzirem os tempos de montagem, a recolha de toda a informação foi extremamente importante pois permitiu também o registo de informação que antes era apenas conhecida pelos colaboradores da linha e a atualização das estruturas (*Bill of Materials*), os comprimentos e dobras dos tubos foram uniformizados, reduziram-se os desperdícios referentes à sucata de cobre e o espaço ocupado pelo *stock* deste produto dentro do armazém.

Para além de se ter atualizado a informação referente aos tubos de cobre nas estruturas, procedeu-se também à atualização da informação referente aos componentes reduzindo assim erros associados à distribuição de material (falhas de material) e paragens feitas pelo colaborador para se deslocar até ao armazém.

Ainda durante a análise dos desperdícios foram detetadas mais algumas tarefas que podiam ser retiradas da linha. No posto 1 foi eliminada a tarefa de limpeza dos painéis sendo que agora eles são limpos depois da injeção e só depois seguem para a linha; no posto 2 foram definidas medidas para o tubo de cristal e para as sondas e estes passaram a ser entregues com as medidas exatas.

3.5.5. RESULTADOS OBTIDOS

Através dos seguintes gráficos (fig. 42 e 43) podemos verificar os ganhos totais com as mudanças efetuadas. No posto 1, os desperdícios necessários incluíam, inicialmente, corte e dobração dos tubos de cobre, preparação do compressor, limpeza do painel e remoção da película do painel. No posto 2 este tipo de desperdício incluía também corte e dobração de tubo, retirar película do painel e limpeza do evaporador. O puro desperdício refere-se às deslocações.

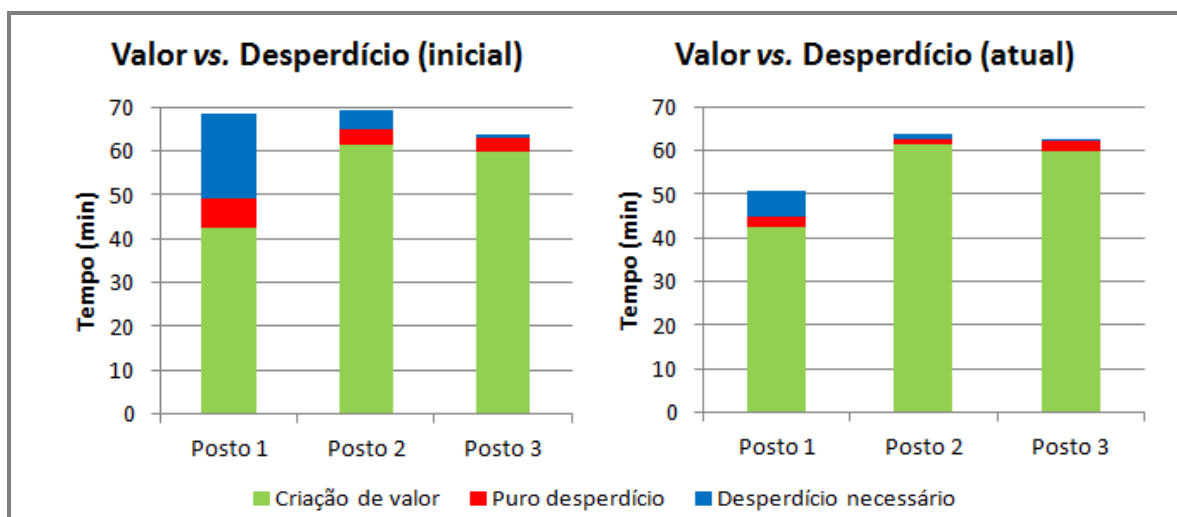


Figura 42: Linha dos grupos O's - valor vs. desperdício (inicial)

Figura 43: Linha dos grupos O's - valor vs. desperdício (atual)

O posto 1 foi o que mais beneficiou com as mudanças realizadas, obtendo ganhos de 26,3%, seguindo-se o posto 2 com 7,8% e o posto 3 com 3,0%.

3.6. ALTERAÇÕES AO LAYOUT DAS RESTANTES LINHAS

Na linha de montagem dos abatedores, a bancada do posto 3 passou a estar frente a frente com a do posto 2; do lado oposto encontra-se a máquina de carga de gás (fig. 44). Deste modo o colaborador consegue controlar a inserção de gás do grupo enquanto inicia a montagem do seguinte. Esta configuração permitiu eliminar as deslocações para fora da área do posto 3.



Figura 44: Nova configuração da linha de montagem dos abatedores

Outra alteração realizada foi a deslocação da linha de montagem dos grupos V's para perto da pré-montagem (fig. 45).

A empresa lançou um novo produto, a mini câmara, e devido ao seu tamanho, forma e configuração serem bastante diferentes dos produtos já produzidos, optou-se pela criação de um posto de trabalho dedicado a este produto.

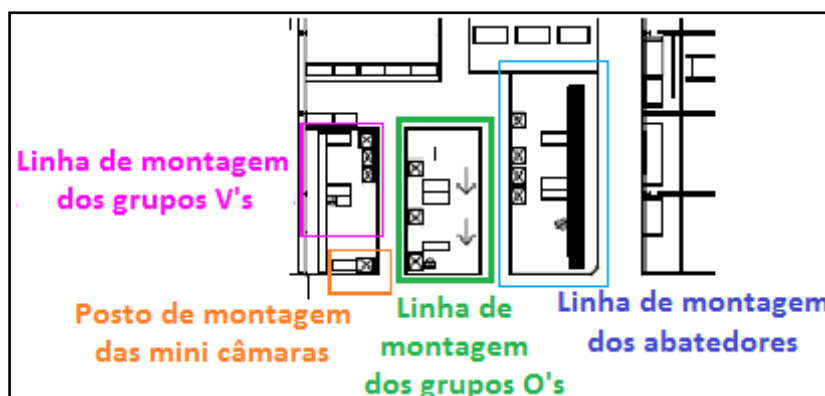


Figura 45: Nova configuração das linhas de montagem

No ponto **3.7. – Implementação da metodologia 5S's** está descrito como a metodologia foi implementada nas linhas de montagem e o ponto **3.8. – Abastecimento das linhas de montagem** foca-se nas mudanças efetuadas ao abastecimento.

Devido à inexistência ou desatualização da informação relativa a instruções de montagem (IDM's) e da importância deste tipo de informação, foi necessário proceder-se à sua elaboração sendo que a grande variedade de produtos produzidos torna esta informação ainda mais vital para garantir a eficiência e eficácia da empresa. Optou-se por iniciar o registo desta informação no posto de montagem da mini

câmara, pois este é um produto recente e, portanto, mais suscetível à ocorrência de erros e inconsistência, dado que o colaborador ainda não está familiarizado com o processo. Para além das IDM's da mini câmara, também se iniciou o registo desta informação para outros produtos que apesar de já serem produzidos há algum tempo ainda não se tinha procedido à elaboração da informação, incluindo os produtos com baixa rotatividade, reduzindo assim o perigo de erros devido à falta de informação e da memória do colaborador.

Antes e durante a elaboração das IDM's, os processos de montagem continuaram a ser analisados e procedeu-se à identificação e eliminação de desperdícios registando assim as melhores/novas práticas.

Além de IDM's também foram elaboradas ajudas visuais que focam um ponto específico da montagem do produto com o objetivo de permitirem uma consulta rápida.

3.7. IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA 5S'S

Para além da reorganização do espaço, também se procedeu à realização dos 5S's nos postos das linhas de montagem, armazém, etc.. A empresa forneceu formação ao nível dos 5'S aos colaboradores, para posteriormente estes princípios poderem ser usados e mantidos nos respetivos locais de trabalho. Inicialmente foram assinalados os itens desnecessários (fig.46) e seguidamente procedeu-se à remoção dos mesmos do local.



Figura 46: Exemplo da fase Separar/Classificar dos 5S

Posteriormente arranjou-se um local para os itens realmente necessários e estes foram colocados no seu devido lugar. Para os componentes cujo abastecimento é feito no supermercado a identificação, além de incluir a designação e o código, tem ainda a sua posição no supermercado, agilizando assim o abastecimento (fig. 47). Esta identificação, além de reduzir o tempo do abastecimento, elimina também os consumos equívocos de componentes, pois existem componentes com nomes e aspetos semelhantes como, por exemplo, anilha recartilhada M4 e anilha recartilhada

M4 inox, sendo que por vezes os colaboradores não encontrando rapidamente o correto abasteciam-se com o primeiro que viam.



Figura 47: Exemplo da fase Organizar/Arrumar dos 5S

Mesmo antes da aplicação dos 5S nos postos de trabalho já existiam regras quanto à sua limpeza. De forma a assegurar a manutenção dos padrões dos 5S's, cada colaborador ficou consciente que ao fim do dia deve arrumar, limpar e despejar o lixo do seu posto tendo para isso cerca de 10 minutos disponíveis. A supervisão da manutenção das medidas aplicadas ficou a cargo das pessoas que acompanham mais de perto a produção.

Nas figuras 48 e 49 temos alguns exemplos da aplicação desta metodologia nas linhas de montagem.

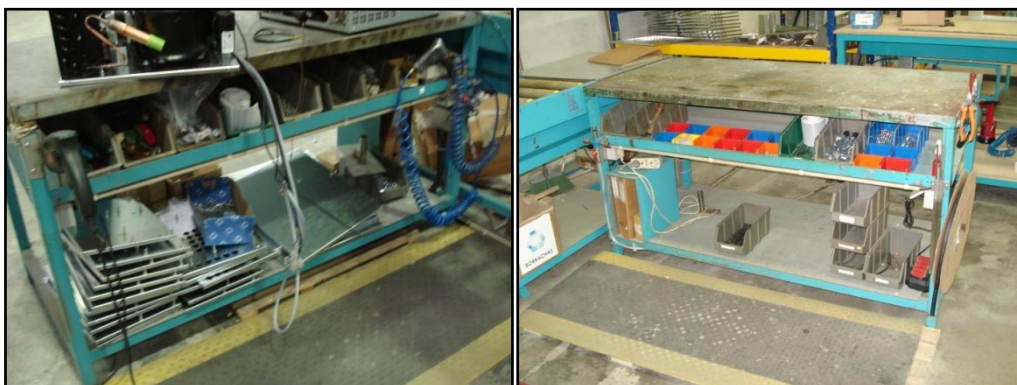


Figura 48: Exemplo do antes (à esquerda) e o depois (à direita) da aplicação dos 5S's



Figura 49: Outro exemplo do antes (à esquerda) e o depois (à direita) da aplicação dos 5S's

Para além de se proceder à realização dos 5S nas linhas de montagem, esta prática foi ainda implementada no armazém (fig. 50 e 51), entre outros locais.

No armazém optou-se por uma organização por componentes, sendo que os componentes mais pesados (e, que portanto, necessitam de ser transportados por um empilhador) foram posicionados à entrada do armazém. Além disso, os componentes que apresentavam uma maior rotatividade foram posicionados nos dois primeiros níveis das estantes permitindo assim o acesso sem o uso de escadas ou empilhadores.

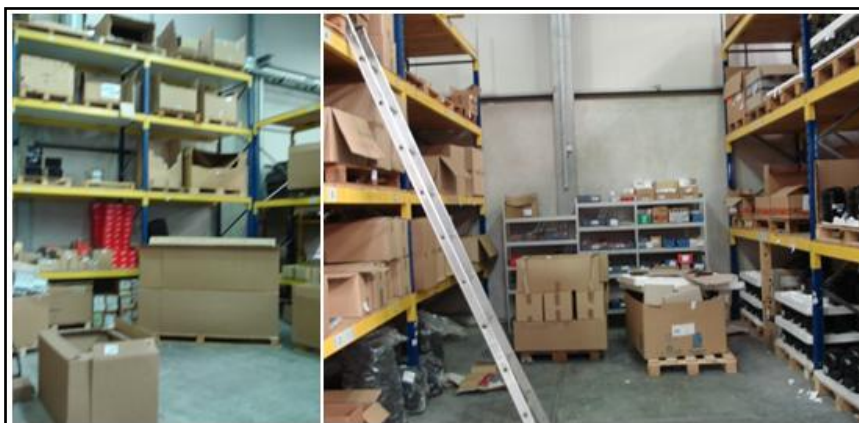


Figura 50: Armazém antes da aplicação dos 5S's



Figura 51: Armazém depois da aplicação dos 5S's

Na figura 52 podemos ver uma zona criada para o depósito do material da transformação já quinado até este ser necessário nas seguintes etapas.

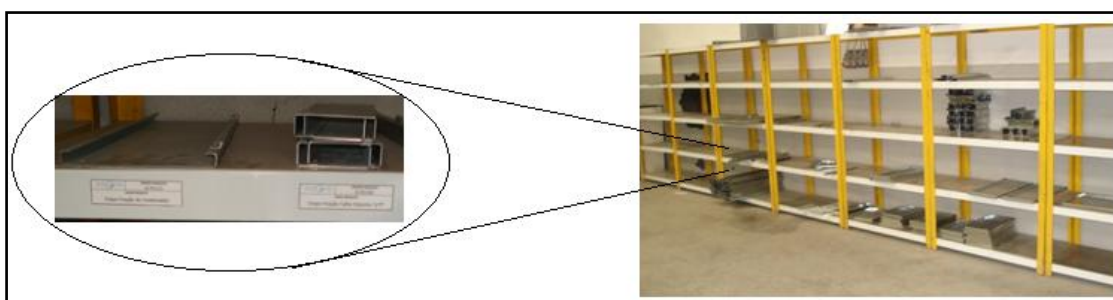


Figura 52: Aplicação dos 5's na zona de transformação

Esta metodologia permitiu a eliminação de desperdícios, libertação de espaço, melhoria do ambiente de trabalho e, conseqüentemente, uma maior satisfação por parte dos colaboradores. Estas ações permitem ainda deixar uma melhor impressão da empresa e do seu funcionamento quando os clientes visitam as instalações.

3.8. ABASTECIMENTO DAS LINHAS DE MONTAGEM

Como foi referido anteriormente, o abastecimento das linhas de montagem era semanal e organizado pelo responsável do armazém (fig.53). Foram detetados os seguintes problemas causados por esta forma de abastecimento:

- Demasiado espaço ocupado pelas estantes que, mesmo assim, não eram suficientes para conseguir guardar todos os componentes;
- Componentes afastados dos postos de trabalho onde eram consumidos;
- Mau acondicionamento dos materiais;
- Algumas falhas de material só eram detetadas no momento em que o operador precisava dos componentes, gerando WIP;
- Muitas deslocações até às estantes;
- Tempo desperdiçado pelos colaboradores das linhas à procura de componentes e desembalar os mesmos;

- Dificil acesso ao material depositado na prateleira mais alta da estante;
- O abastecimento das estantes das linhas dos grupos O's e V's e a recolha dos componentes por parte do colaborador da respetiva linha eram efetuados do mesmo lado gerando perturbações ao normal funcionamento da linha de cada vez que estas eram abastecidas.



Figura 53: Abastecimento semanal das linhas (linha de montagem dos grupos O's)

Atualmente o abastecimento segue o conceito *junjo*. Este é feito através de *kits*, e é maioritariamente diário existindo ainda alguns componentes cuja entrega é semanal, entre os quais os tubos de cobre e as serpentinas provenientes do Pólo I da empresa. Existem alguns componentes (sondas, cabos elétricos, microprocessadores, botões, proteções e tubos de cristal) que ainda são abastecidos de forma sequencial, mas cuja próxima etapa é o abastecimento contínuo através do uso de *kanbans*. Existem ainda componentes, tais como, parafusos, rebites e anilhas que são abastecidos pelos colaboradores de cada posto no supermercado; este abastecimento, embora ainda seja feito pelos próprios, passará a ficar a cargo do operador logístico. Nessa fase existirá apenas um componente que não será abastecido pelo operador logístico, os painéis. A função de operador logístico é desempenhada pelo colaborador da pré-montagem que agora conjuga as suas antigas funções com o abastecimento dos bordos de linha.

Para facilitar o novo abastecimento foram criados carrinhos tendo em conta as necessidades de cada posto e definiram-se os bordos de linha. Foi criado um corredor de abastecimento e outro de retirada, cada carrinho tem uma posição para cada material sendo que os carrinhos foram colocados o mais próximo possível dos pontos de consumo. Na figura 54 temos o exemplo do bordo de linha dos grupos O's.



Figura 54: Bordo de linha dos Grupos O's

Na tabela 8, podemos verificar os ganhos em termos de espaço com a mudança do abastecimento. Foram ainda reduzidos outros *mudas* prejudiciais ao bom funcionamento da produção, *mudas* de deslocação e de espera.

Tabela 8: Melhorias no abastecimento das linhas de montagem

	Antes	Depois	Melhoria
Linha dos Grupos O's			
Área ocupada (m ²)	4,3*	2,2	47,2%
Linha dos Grupos V's			
Área ocupada (m ²)	3,8*	2,4	36,8%
Linha dos Abatedores			
Área ocupada (m ²)	5,5	3,0	45,5%
Observações	*Apenas área ocupada pelas estantes (área ocupada pelos componentes espalhados pelo chão não contabilizada).		

3.9. ESTUDO DE SIMULAÇÃO PARA O BALANCEAMENTO DA LINHA DE MONTAGEM DOS GRUPOS O'S

3.9.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE MONTAGEM

O estudo de simulação foi dedicado à linha de montagem dos grupos refrigeradores para as câmaras O's. Como referido anteriormente, esta linha é constituída por três postos de trabalho dedicados somente à montagem do produto final; porém, existe mais um posto de trabalho, a pré-montagem, que se dedica à montagem de subprodutos para as diferentes linhas. A pré-montagem, originalmente fazia parte da seção de soldadura onde os componentes eram produzidos e

armazenados (WIP) até serem necessários na linha de montagem (fig.55). No início da semana a pré-montagem recebe uma lista com a informação sobre os produtos a produzir, iniciando então a produção de todos os subprodutos necessários. Estes produtos eram armazenados em qualquer espaço disponível na zona de pré-montagem/soldadura, ficando aí retidos até serem necessários na linha de montagem. O posto da pré-montagem produzia materiais para o posto 1 e 3 da linha dos grupos O's e tinha grande parte dos subprodutos já preparados quando a linha começava o trabalho da semana.

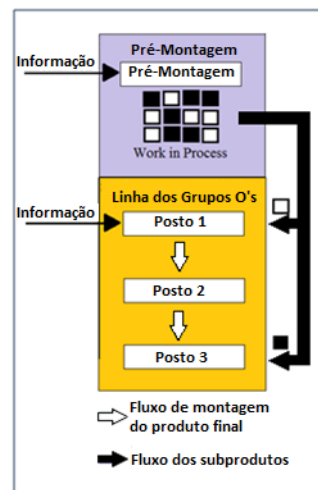


Figura 55: *Layout* do processo de montagem

A linha de montagem também recebe no início da semana informação sobre os produtos a produzir. O objetivo deste estudo era aumentar o *output* desta linha de forma a satisfazer a procura por este tipo de produtos.

3.9.2. FASE DE CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEPTUAL E OPERACIONAL

A modelação do processo de montagem foi realizada o mais aproximado da realidade possível seguindo os passos usuais (formulação do problema, modelação conceptual e recolha de dados, modelação operacional, verificação e validação (V&V), desenho de experiências e análise dos resultados). O modelo foi desenvolvido de forma a testar uma série de modificações com o objetivo de avaliar diversos indicadores de desempenho definidos para o estudo, nomeadamente, quantidade de *output*, estatísticas para filas de espera e utilização de recursos (neste caso, recursos humanos).

A fase de modelação do modelo conceptual foi crítica e requereu conhecimento detalhado do sistema (por exemplo, tarefas do processo de montagem e respetivos tempos, *layout*, regras operacionais) e o estabelecimento de uma série de suposições válidas. Esta tarefa foi conseguida com a ajuda do responsável de produção

e dos colaboradores da linha dos grupos O's. Esta fase também requereu um processo exaustivo de modelação de dados de entrada. A vasta variedade de dados históricos sobre os tempos de processamento (as amostras utilizadas incluíam observações dos tempos de processamentos dos diferentes colaboradores) permitiu o ajuste de distribuições estatísticas adequadas a esses dados. As distribuições e os seus parâmetros foram selecionados usando o módulo *Input Analyzer* pertencente ao *software* Arena. As distribuições obtidas (na maioria dos casos, triangular e log-normal) foram analisadas através da inspeção visual, do valor do erro quadrático e do *p-value*, garantindo assim um bom ajuste.

No que diz respeito à fase de modelação, os modelos de simulação foram implementados no Arena® (Rockwell Software) através da utilização de diferentes módulos do *template* geral do Arena. A figura 56 mostra um excerto da janela de modulação do Arena e um conjunto de módulos (por exemplo, *Process*, *Decide*, *Match*, *Batch*) usados para modelar o posto 1 e o respetivo processo de montagem.

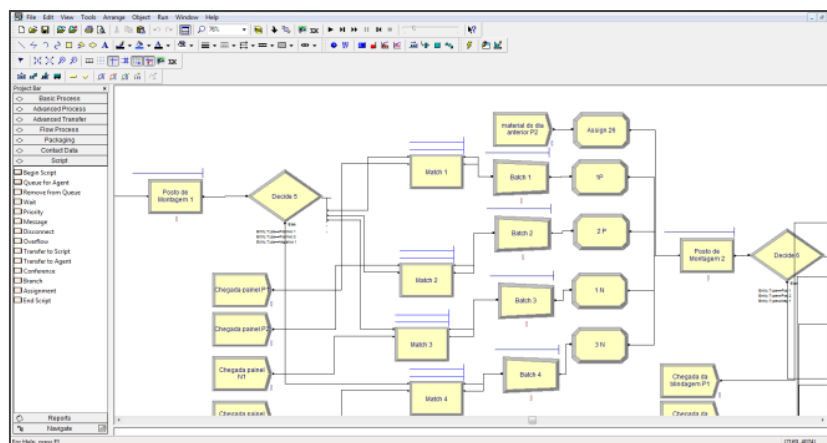


Figura 56: Excerto da simulação do modelo operacional da linha de montagem

Informação como os diferentes tempos de processamento para cada produto em cada posto de trabalho, as diferentes prioridades dos clientes, o horário de trabalho e as pausas quer para almoçar e quer para descanso também foram consideradas.

Os modelos foram então verificados e validados usando diferentes técnicas, tais como, *debugging* (processo de encontrar e reduzir defeitos) e exame dos traços do modelo (o progresso da simulação é analisado passo a passo com *outputs* detalhados), animação (permite acompanhar o comportamento do modelo ao longo do tempo), validação previsível (a consistência do *output* é verificada), e *walk-through* estruturados (a lógica de cada tipo de evento foi seguida e discutida). O modelo de animação e a comparação das medidas de desempenho previstas com o comportamento já conhecido do sistema atual em operações chave, foram as técnicas mais utilizadas, pois permitem o envolvimento dos decisores no processo de validação.

3.9.3. ANÁLISE DO OUTPUT

Depois da modelação operacional do sistema, o *output* do modelo permitiu a análise das medidas chave de desempenho, tais como, o número de produtos produzidos, a quantidade de produtos em fila de espera em cada posto de trabalho e as taxas de utilização dos recursos. As condições para correr o programa foram definidas para um típico período de planeamento (1 semana), com 15 replicações (o número de replicações foi definido através uma abordagem de tentativa-e-erro até os intervalos de confiança serem razoáveis), e os resultados foram analisados através de um método de replicações independentes (reprodução dos factos em diferentes amostras). A tabela 9 apresenta o *output* da linha de montagem.

Tabela 9: Dados do modelo V&V das operações da linha de montagem (intervalo de confiança - 95%)

Posto	Quantidade em fila de espera (<i>unidade</i>)	Tempo em fila de espera (<i>horas</i>)	Taxa de utilização dos recursos humanos (<i>0-1</i>)
1	[3,46;3,48]	[7,42;7,48]	[0,60;0,61]
2	[1,97;2,11]	[3,94;4,22]	[0,91;0,93]
3	[0,04;0,06]	[0,09;0,11]	[0,76;0,78]
<i>Output (valor médio)</i>			
16 unidades			

Depois da validação do modelo através da análise dos dados deste *output* foi possível a identificação de 2 grandes problemas. O primeiro foi que o posto de pré montagem e o posto 1 não estavam sincronizados, gerando um elevado número (e tempo) de subprodutos da pré-montagem na fila de espera do posto 1. De facto, o WIP produzido pela pré-montagem tem grandes dimensões e o seu armazenamento requiere bastante espaço. O segundo problema é o facto do posto 2 ser atualmente o gargalo da linha.

3.9.4. ANÁLISE DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS

Ao considerar as diferentes possibilidades de balanceamento, foram excluídos os cenários em que o posto de pré-montagem se dedica exclusivamente à linha dos grupos O's, pois as máquinas que este posto usa são dispendiosas e também são necessárias para a pré-montagem de subprodutos para as outras linhas.

Foram considerados dois cenários alternativos (cenário A e cenário B).

No cenário A (fig. 57), o posto de pré-montagem ficará situado próximo das linhas. Será o único posto a receber informação sobre o planeamento da semana e produzirá subprodutos para todos os postos da linha. Só produzirá os materiais

necessários imediatamente a seguir, de forma a reduzir o *work in process* entre a pré-montagem e os postos de trabalho. Algumas tarefas (referente à pré-montagem de materiais mas executadas na linha de montagem) serão transferidas do posto para a pré-montagem.

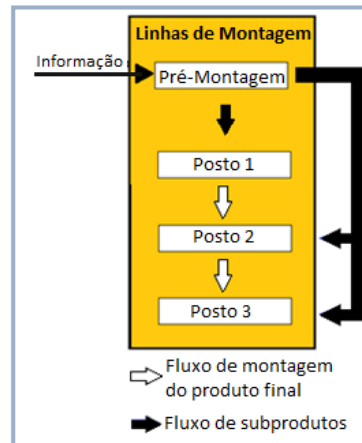


Figura 57: *Layout* do sistema para o cenário A

No cenário B (fig. 58) a pré-montagem será também transferida para junto da linha de montagem, mas irá somente produzir subprodutos para o posto 2 e 3. Serão transferidas algumas tarefas do posto 1 para o posto 2, sendo que algumas tarefas do posto 2 referentes à pré-montagem de componentes serão transferidas para a pré-montagem.

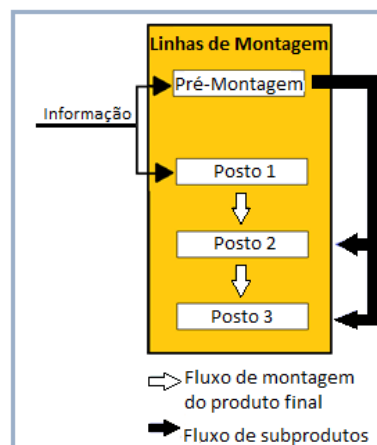


Figura 58: *Layout* do sistema do cenário B

Os modelos correspondentes a estes cenários foram desenvolvidos, verificados e validados e os dados de saída apresentam-se nas tabelas seguintes (tabela 10, mostra os indicadores de desempenho obtidos para o cenário A, e a tabela 11, demonstra os indicadores de desempenho para o cenário B).

Tabela 10: Dados de saída do cenário A

Posto	Quantidade em fila de espera (unidades)	Tempo na fila de espera (horas)	Taxa de utilização dos recursos humanos (0-1)
Pré-Montagem	-	-	[0,74;0,75]
1	[0,15;0,21]	[0,11;0,15]	[0,75;0,76]
2	[2,67;2,87]	[1,93;2,00]	[0,93;0,94]
3	[0,00;0,01]	[0,00;0,01]	[0,80;0,81]
Output (valor médio)			
21 unidades			

Tabela 11: Dados de saída do cenário B

Posto	Quantidade em fila de espera (unidades)	Tempo na fila de espera (horas)	Taxa de utilização dos recursos humanos (0-1)
Pré-Montagem	-	-	[0,49;0,50]
1	-	-	[0,82;0,84]
2	[1,72;1,90]	[2,45;2,71]	[0,94;0,95]
3	[0,00;0,01]	[0,00;0,01]	[0,80;0,81]
Output (valor médio)			
21 unidades			

3.9.5. ANÁLISE E DECISÃO BASEADAS NO ESTUDO DE SIMULAÇÃO

Através deste estudo de simulação foi possível analisar as diferentes alternativas sem alterar o sistema real. A tabela 12 permite fazer uma síntese dos resultados para cada uma das configurações analisadas.

Tabela 12: Tabela comparativa sobre os diferentes resultados

Posto	Quantidade em fila de espera	Tempo em fila de espera	Taxa de utilização dos recursos humanos
Pré-Montagem	Indiferente	Indiferente	A
1	B	B	B
2	B	A	B
3	Indiferente	Indiferente	Indiferente
Output			
Indiferente			

A análise comparativa indica um desempenho mais elevado para o cenário B no que diz respeito aos indicadores de desempenho escolhidos.

Fazendo uma comparação entre o cenário B e o atual balanceamento da linha deverá existir um aumento de produtividade próximo dos 30% e as estatísticas

referentes às filas de espera revelam um desempenho melhor em todos os postos de trabalho.

No cenário B o posto 2 continua a ser o recurso gargalo; contudo o colaborador alocado ao posto 1 continuará a ajudar o posto 2 quando tiver tempo disponível e/ou o WIP entre os postos alcançar as 2 unidades. Através de uma análise mais aprofundada do cenário B verificam-se mais vantagens, tais como, redução da área ocupada pelo WIP (cerca de 65%) na zona da pré-montagem.

Capítulo 4

REFLEXÕES FINAIS

4.1. CONCLUSÃO

Hoje em dia as empresas deparam-se com mercados cada vez mais competitivos e exigentes. Os consumidores procuram produtos adaptados às suas necessidades específicas, levando muitas empresas a alargarem os seus leques de produtos, criando soluções cada vez mais personalizadas para satisfazerem a procura; caso contrário arriscam-se a perder quota de mercado para os seus concorrentes.

Atualmente muitas empresas nacionais encaram a internacionalização como uma forma de ultrapassar a crise económica; muitos optam por iniciar este processo nos países de língua oficial portuguesa (Brasil e PALOP) devido ao seu crescimento económico e à facilidade de comunicação, ou na Europa devido ao elevado poder de compra de alguns países e da exploração do “mercado da saudade” junto das comunidades portuguesas.

Para viabilizarem os seus projetos, as empresas necessitam de metodologias que as auxiliem a reduzir custos sem descuidar a qualidade dos seus produtos. Uma das respostas para esta necessidade é a implementação da filosofia *Lean* que permite identificar e eliminar as fontes de desperdícios.

A empresa analisada no caso de estudo, a Mercatus, apesar de já ter uma forte presença internacional e um leque diversificado de produtos decidiu implementar esta metodologia com o objetivo de aumentar a sua eficiência e capacidade produtiva.

A remodelação do armazém e supermercado, baseada na análise da configuração do armazém, do conteúdo do supermercado, e das deslocações do colaborador afeto a este local, assim como a implementação da metodologia 5S's permitiram não só uma melhor gestão dos componentes bem como a redução dos tempos de abastecimento quer do supermercado quer das próprias linhas de montagem.

A implementação dos 5S's além de libertar espaço, melhorar o ambiente de trabalho e o aspeto geral das instalações permitindo deixar uma impressão mais agradável a quem visita a fábrica, deu um grande contributo para o aumento da satisfação dos colaboradores.

A transição de um abastecimento semanal para um abastecimento diário, permitiu uma melhor rentabilização do espaço bem como reduzir *mudas* referentes a deslocações dos colaboradores das linhas de montagem e tempos de espera.

As alterações efetuadas aos *layouts* das linhas de montagem permitiram a redução das deslocações tornando as linhas mais eficientes, aumentaram a flexibilidade dos colaboradores e agilizaram todo o processo.

A análise aprofundada à linha de montagem dos Grupos O's revelou os diversos desperdícios presentes no processo, sendo que a eliminação dos mesmos conduziu a ganhos de 26% para o posto 1, 8% para o posto 2 e 3% para o posto 3.

O balanceamento da linha de montagem dos grupos O's foi estudado com o auxílio de um estudo de simulação que permitiu a comparação de dois cenários determinando qual o melhor. Porém, como referido anteriormente, devido ao lançamento de um novo produto foi necessário realizar algumas alterações ao plano inicial impossibilitando a implementação do novo balanceamento.

No Pólo II, apesar de alguns colaboradores demonstrarem inicialmente alguma resistência às mudanças, depois da respetiva implementação reconheciam os ganhos obtidos, bem como, demonstraram-se mais predispostos a apontar aspetos que devem ser melhorados e a sugerir possíveis soluções.

4.2. SUGESTÕES

Para prosseguir com a implementação do *Lean Thinking* é necessário concluir algumas tarefas já iniciadas, tais como, a passagem do abastecimento de componentes que ainda seguem o abastecimento semanal para o abastecimento contínuo através do uso de *kanbans*.

Depois do processo de montagem das mini câmaras estar estabilizado, deve-se refazer o balanceamento da linha de montagem dos grupos O's e aproveitar a disponibilidade do colaborador afeto à montagem das mini câmaras para otimizar ambas as linhas.

A aplicação de informação de uma forma visual permite a deteção rápida de operações anormais e ajuda a promover a padronização dos processos, logo a gestão visual deve constar nos próximos passos desta jornada.

Por ser um problema recorrente é necessário acabar com as falhas de componentes e com os consequentes atrasos/perturbações no normal funcionamento da empresa, tal deve ser feito através da atualização dos *stocks* de segurança com a principal finalidade de evitar a rotura de *stocks*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lean Institute Brasil. (Abril de 2011). *Comunidade*. Obtido de Lean Institute Brasil: <http://www.lean.org.br/leanmail/102/as-dificuldades-do-sistema-puxado.aspx>
- 4 Lean. (s.d.). *Lean Tools*. Obtido em 11 de Abril de 2013, de 4 Lean: http://www.4lean.net/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=188&lang=pt
- Altioik, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. Londres: Elsevier.
- Barton, R. R. (2012). Tutorial: Input uncertainty in output analysis. *Winter Simulation Conference 2012*. Berlim : WSC Archive.
- Boysena, N., Flidnera, M., & Schollb, A. (2008). Assembly line balancing: Which model to use when? *International Journal of Production Economics*, 509–528.
- Bremer, C. F., & Lenza, R. d. (Dezembro de 2000). Um modelo de referência para gestão da produção em sistemas de produção assembly to order: ato e suas múltiplas aplicações. *Gestão & Produção*, 7, pp. 269-282.
- Dennis, P. (2007). *Lean Production Simplified*. Nova Iorque: Productivity Press.
- Eurisko – Estudos, Projectos e Consultoria, S.A. (Março de 2003). *PME - Pequenas e Médias Empresas*. Obtido de AEP – Associação Empresarial de Portugal: http://pme.aeportugal.pt/Aplicacoes/Documentos/Uploads/2005-03-08_15-31-16_Metodos%20e%20Tempos.pdf
- Feld, W. M. (2001). *Lean Manufacturing: Tools, Techniques, and How to Use Them*. Florida: St. Lucie Press.
- Ferro, J. R. (Agosto de 2005). *Comunidade Lean*. Obtido de Lean Institute Brasil: <http://www.lean.org.br/leanmail/46/lean-nao-e-estoque-zero.aspx>
- Firake, S. T., & Inamdar, K. H. (Maio-Junho de 2014). Productivity improvement of automotive assembly line through line balancing. *International Journal of Technical Research and Applications*, 2, 124-128.
- Fishman, G. F. (2001). *Discrete-Event Simulation Modeling, Programming and Analysis*. Nova Iorque: Springer.

- Freire, L. M. (27 de Novembro de 2013). *Módulos de treinamento*. Obtido de Takt Time: http://www.takttime.net/wp-content/uploads/ModulosTreinamentoTakt_v7.pdf
- Ingalls, R. G. (2013). Introduction to simulation. *Winter Simulation Conference 2013*. Washington D. C.: WSC Archive.
- Jurishica, C., & Zupick, N. (2012). Tutorial: Tools and methodologies for executing successful simulation consulting projects. *Winter Simulation Conference*. Berlim: WSC Archive.
- Kaizenworld. (2014). 5S. Obtido de Kaizen World: <http://www.kaizenworld.com/kaizen/5s.html>
- Kelton, W. D., Sadowski, R., & Zupick, N. (2004). *Simulation with Arena*. McGraw-Hill.
- Lane, G. (3 de Outubro de 2007). Obtido em 6 de Janeiro de 2014, de Instituto Lean: <http://www.institutolean.org/oldsite/breakouts/leanbcn2007-lane.pdf>
- Law, A. M., & Kelton, K. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis* (3ª Edição ed.). New York: Mc Graw Hill.
- Lean Enterprise Institute. (2009). *What is Lean?* Obtido de Lean Enterprise Institute: <http://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm>
- Leone, G., & Rahn, R. D. (2002). *Fundamentals of Flow Manufacturing*. Colorado, Estados Unidos da América: Flow Publishing Inc.
- Liker, J. K., & Meier, D. (2006). *The Toyota Way Fieldbook A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Narusawa, T., & Shook, J. (2009). *Kaizen Express Fundamentos para a sua jornada lean*. Cambridge: Lean Enterprise Institute.
- Pinto, J. P. (2009). *Pensamento Lean A filosofia das organizações vencedoras*. Lisboa: Lidel.
- Pinto, J. P. (2010). *Gestão de Operações* (3ª ed.). Lisboa, Portugal: LIDEL.
- Pleasant, S. (21 de Março de 2012). *Blog*. Obtido de Lean Learning Center: <http://www.leanlearningcenter.com/2012/03/what-are-supermarkets/>
- Rockwell Automation. (2014). *Tools and Resources*. Obtido de Arena® Simulation Software:

http://www.arenasimulation.com/Private_Content.aspx?code=727I57H9K24&type=1

Sargent, R. G. (2013). An introduction to verification and validation of simulation models. *Winter Simulation Conference*. Washington D.C.: WSC Archive.

Shook, J. (s.d.). *Misunderstandings About Value-Stream Mapping, Flow Analysis, and Takt Time*. Obtido em 6 de Janeiro de 2014, de Lean Enterprise Institute: http://www.lean.org/library/shook_on_vsm_misunderstandings.pdf

Suzaki, K. (2010). *Gestão de Operações Lean: metodologias kaizen para a melhoria contínua*. Mansores: LeanOp Press.

Vargas, R. (25 de Maio de 2012). *Lean Manufacturing*. Obtido em 25 de Fevereiro de 2014, de Gestão Industrial: <http://gestaoindustrial.com/lean-manufacturing.htm>

Wikipédia. (16 de Dezembro de 2013). *Ford Model T*. Obtido de Wikipédia: http://en.wikipedia.org/wiki/Ford_Model_T

Wilson, L. (2010). *How to Implement Lean Manufacturing*. Nova Iorque: The McGraw-Hill Companies.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Nova Iorque: Simon & Schuster.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. New York: Free Press.

Slides disponibilizados na unidade curricular Gestão de Operações (2011).

Slides disponibilizados na unidade curricular Simulação Industrial (2012).

Slides disponibilizados na unidade curricular Simulação Aplicada (2013).